
박사학위논문

^{32}P Bioassay에 의한 감귤나무의 인산영양진단법 개발

제주대학교 대학원

농 화학 과



1992년 12월 일

^{32}P Bioassay에 의한 감귤나무의 인산영양진단법 개발

지도교수 유 장 결

송 성 준

이 논문을 농학 박사학위 논문으로 제출함

1992년 12월

송성준의 농학 박사학위 논문을 인준함



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

심사위원장	인
위 원	인
위 원	인
위 원	인
위 원	인

제주대학교 대학원

1992년 12월

Development of Phosphorus Diagnosis Method
of *Citrus unshiu* Marc. by ^{32}P Bioassay

Sung-Jun Song

(Supervised by professor Zang-Kual U.)



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

DEPARTMENT OF AGRICULTURAL CHEMISTRY
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

1992. 12.

목 차

Summary	3
I. 서론	7
II. 재료 및 방법	14
시험 1. ³² P Bioassay 방법 확립	14
가. 공시식물	14
나. ³² P Bioassay	14
다. 뿌리시료의 보관	16
라. 대사 저해제의 영향	16
마. 뿌리 채취 위치	16
시험 2. Pot 재배 실험	18
가. 공시식물의 재배	18
나. 인산흡수능 측정	19
다. 엽중 P 분석	19
라. 토양 유효인산 분석	19
마. 신초길이 측정	19
시험 3. 포장 실험	19
가. 포장선정과 시비관리	19
나. 인산흡수능 측정	21
다. 엽분석	22
라. 토양분석	22
마. 신초길이 측정	23
바. 감귤의 당과 산함량 조사	23

사. 감귤 생산량 조사	23
시험 4. 농가 감귤원에서의 인산흡수능, 토양유효인산 그리고 엽분석	23
III. 결과 및 고찰	24
시험 1. ^{32}P Bioassay 방법 확립	24
가. 뿌리중 ^{32}P 양의 액체형광계수치에 대한 방사능의 물리적 소광보정	24
나. 뿌리 시료의 저장 조건	26
다. 대사 저해제의 영향	26
라. ^{32}P Bioassay 실험용 뿌리 채취 조건 확립	28
시험 2. Pot 재배 실험	31
시험 3. 포장 실험	37
가. 인산흡수능(P-uptake)과의 관계	38
나. 토양 화학적 성질과의 관계	40
다. 엽중 영양 상태와의 관계	41
라. 신초길이와의 관계	44
마. 감귤의 생산량과의 관계	50
바. 과일 품질과의 관계	50
사. 토양 유효인산과 인산흡수능과의 관계	52
시험 4. 농가 감귤원에서의 인산흡수능, 토양 유효인산 그리고 엽분석과의 관계	55
IV. 적 요	58
V. 참 고 문 헌	62

SUMMARY

It has been very difficult and almost impossible to observe P-fertilization response in the citrus trees because no proper method for P-status diagnosis was available. For reason of this fact citrus growers in Cheju have applied very high quantities of P-fertilizers in their orchards every year and a considerable amount of phosphate has been accumulated in the soils.

The excess accumulation of phosphate in soils might result in the deterioration of fruit quality, the nutritional disorders, and environmental pollution as well as wasteful farming cost.

Therefore, these studies have been carried out to develop a method of effective phosphate diagnosis which can measure the physiological phosphate demand of the citrus tree and provide useful information on P-fertilization for the citrus growers.

A. Methodology Development of ^{32}P Bioassay

For the development of ^{32}P bioassay technique suitable for P diagnosis of citrus trees, some experimental conditions were examined with the 2 years old sand-cultured and the 10 years old field-grown *Citrus unshiu* Marc. var. Miyagawa.

1. In liquid scintillation measurement of ^{32}P activity in fresh roots, the physical quenching, self absorption of β particles by the root tissue, could be successfully corrected by the multiple regression method with the scintillation activity of ^{32}P in the roots and the root biomass.

2. The storage of root samples was better at 20°C than 4°C.

3. The fine roots were distributed mainly at 5 - 15 cm of soil depth

around the outward edge of canopy.

4. The P-uptake activity of roots was not influenced by either the root directions or the root connections to nonfruiting and fruiting branch.

5. Optimum numbers of root samples per plot were 7 to 8.

6. For the ^{32}P bioassay, July was better than May or September.

B. Sand Culture Experiment

A sand culture experiment was performed to find out the relationship between the P-uptake by the excised roots and the amount of P-added, with 2 years old *Citrus unshiu* Marc. var. Miyagawa and Okitsu cultured at the different levels of P concentrations for 6 months.

1. There was a highly significant correlation between P-uptake by the excised root of citrus tree and the P concentrations of culture solution supplied.

2. The varietal difference of the P-uptake between Miyagawa and Okitsu was not shown.



C. Pot Experiment

The principle of ^{32}P bioassay was confirmed with *Citrus unshiu* Marc. var. Miyagawa and Okitsu grown in the pot for 6 months at six levels of phosphate.

1. High application of P-fertilizer decreased the P-uptake by the excised roots but increased available P in soil.

2. There was no difference among P-content in leaves and branch length by the P-application.

3. It was not able to observe varietal difference of the P-uptake between Miyagawa and Okitsu.

D. Field Experiment

In order to apply ^{32}P bioassay technique to the P-nutrition status diagnosis of citrus trees, the seven experimental fields having different levels of available soil P were selected. Fused phosphates were applied 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.5, and 5 times of recommended fertilization rates for 3 years.

1. The P-uptake activity of roots was higher in the fields with low soil available P (less than 30 mg/kg) than the high available P in soils (more than 80 mg/kg).

2. The P-uptake by roots in the fields lower than 30 mg/kg of available P was decreased significantly with increasing P-fertilizer level and the response of P-uptake to P-fertilizer became more distinct in the 2nd or 3rd year than the 1st year of the experiment.

3. By the increase of fused phosphate application, the content of available P and total P in soils, exchangeable Ca, and Mg as well as soil pH and CEC were increased.

4. The contents of P, N, K, Ca, Mn, and Zn in citrus leaves were not influenced by P-fertilizer application.

5. The P-fertilizer application did not affect the branch length, fruit yield of citrus and Brix sugar content in fruit juice but decreased the content of titratable acid.

6. The P-uptake activity in the fields above 150 mg/kg of soil available P decreased very slowly, which indicating that no more P-fertilization was necessary for those fields.

7. It is concluded that 400-500 pg P/mg root of P-uptake can be used as an index to diagnose P nutrition status of citrus tree.

E. Farmer's Field Experiment

The ^{32}P bioassay was conducted for the root samples from sixty citrus orchards selected in Cheju-do to ensure the relationship between P-uptake, soil available P and leaf P-content.

1. The correlation between the P-uptake activity and soil available P was shown higher than that of soil available P and leaf P or P-uptake activity and leaf P.

2. The P-uptake activity was low and decreased slowly in the fields where the soil available P was above 150 mg/kg corresponding to 450 pg P/mg root of P-uptake which were identical to the results obtained from the field experiment.

It has been very difficult to know whether phosphate supplied to the citrus trees was sufficient or not because no response of P-fertilization was observed in terms of leaf analysis, fruit yield, and growth measurement. Through the present study, however, the ^{32}P bioassay method to measure the degree of P-demand by citrus trees could be demonstrated. The threshold point obtained from the exponential curve plotted the P-uptake activity against the soil available P was about 400 - 500 pg P/mg root which was very well correlated with 100 - 150 mg/kg of soil available P. This fact means that in the citrus fields with high soil P (over 150 mg/kg) the P-uptake by citrus roots would be very low and consequently very little response to P-fertilization expected. From the results obtained, it is considered that 400 - 500 pg P/mg root of P-uptake or 100 - 150 mg/kg of soil available P can be used as an index to determine whether P-fertilizers should be applied or not. In order to make sure of the index value, however, continual data accumulation would be necessary for the variable conditions of soil types, tree ages, varieties, and altitudes of plantation.

I. 서론

1. 연구배경과 목적

1960년대 후반부터 제주도에 재배되기 시작한 감귤은 제주도민의 중요한 소득원으로 크게 기여를 했으며, 1991년 56만톤의 감귤을 생산하여(농협중앙회, 1991) 사과와 함께 국내 주요과일중의 하나가 되었다(姜, 1990). 그러나 최근 UR 협상과 더불어 외국산 오렌지 및 감귤이 국내에 수입될 전망이기 때문에 제주산 감귤의 국제 경쟁력을 키우기 위해서는 합리적인 비배관리기술을 통해 감귤의 품질을 향상시키고, 생산비 절감방안을 강구하여야 할 것이다.

그런데 제주도 대부분 경작지의 토양은 인산 고정능이 큰 화산회토로 되어있기 때문에(愼 등, 1964; 金, 1974; 李와 李, 1975; 愼과 金, 1975) 비화산회 토양에 비해서 더 많은 인산질 비료를 시비토록 권장하여(金 등, 1973; 朴 등, 1975) 왔는데, 감귤 재배자들은 권장시비량보다도 훨씬 많은 양의 비료를 계속 투입하고 있어 농업 생산성 효율을 저하시키고 있는 실정이다.

제주도 감귤원의 경우 개원년도가 오래된 감귤원일수록 토양중에 인산양분이 다량으로 축적되어 있는데(柳와 宋, 1984) 이러한 인산함량이 감귤나무의 영양 요구도와 더불어 수체의 생육이나 감귤 품질에 적당한 양인지 또는 과잉인지를 평가할 수 있는 방법이 확립되어 있지 않은 관계로 농민들이 계속해서 너무 많은 양의 인산비료를 감귤나무에 시비하고 있더라도 이에 대한 대농민 지도에 어려움이 많았다. 이로 인해 과잉의 인산양분은 감귤나무에 흡수 이용되지 못한 채 유실됨으로써 불필요한 영농비 지출은 물론 나아가 막대한 자원과 에너지를 낭비하게 되는 결과를 초래하고 감귤의 생육(鈴木 등, 1972)과 과일의 품질(金子 등, 1970; 鈴木, 1979)에 좋지 않는 영향을 줄 가능성이 커지고 있다.

현재까지 사용되고 있는 작물 영양 진단 방법으로는 육안으로 엽색을 직접 관찰하는 방법, 식물체 분석법, 그리고 토양중의 유효양분을 분석하는 방법등(Marschner, 1986)이 있다. 그러나 엽색을 관찰하는 방법은 오랜 경험과 기술을 요구하고 정확도가 낮으며, 식물체의 화학분석법도 시간이 많이 걸릴뿐만 아니라

식물체내의 양분함량이 현저히 저하된 경우에만 관찰되기 때문에 조기 확인방법으로는 적당치 않다. 또한, 토양 화학분석의 경우에도 그 분석치가 작물의 생육이나 수량 또는 영양생리대사와 항상 직결되지 않는다는 결점이 있다.

감귤은 영년생 작물로서 일년생 작물과는 달리 그 영양생리작용이 매우 복잡(井上, 1971)하여 기존의 방법으로는 영양상태는 물론 시비반응을 관찰하기가 곤란하다고 알려져 있다(Reuther 등, 1958; 坂本 등, 1964; 安達 등, 1966; 金과 吳, 1971; 金 등, 1973; 洪과 鄭, 1979). 따라서 감귤나무의 인산 영양상태를 좀더 예민하고 정확하게 진단할 수 있는 방법의 정립은 현재 과잉으로 시비되고 있는 감귤원의 인산시비를 적정화시키기 위해서 매우 중요한 일이다.

그러므로 본 연구는 산림의 인산영양진단에서 좋은 성과를 거두었던 32P bioassay법(Harrison 등, 1979, 1982, 1984, 1986)을 감귤나무의 인산영양진단에 이용하는 기술을 정립하여 이를 기초로 합리적인 시비 관리 방안을 제시하여 인산질 비료의 효율을 높임으로써 인산 적정 시비에 의한 감귤의 품질 향상은 물론 생산비 절감에 따른 영농효율을 높이는 데 도움을 줄 수 있는 기초 자료를 제공하고자 수행하였고 그 결과를 보고하고자 한다.



2. 연구사

일반적으로 식물에서 인산이 결핍되면 영양대사작용이 감소되고 세포분열(藤原과 岸本, 1987), 광합성(Terry와 Ulrich, 1973), 단백질합성(林, 1982) 그리고 생장이 저조해지고 줄기와 뿌리의 비율(SR ratio)이 낮아지게 된다(Mengel과 Kirkby, 1987). 특히 과수에서는 인산이 부족하면 신초의 발육과 화아의 발달 및 개화의 상태가 불량하게 되고 결국 과실과 종자의 형성이 불충실해져 수량과 품질을 떨어뜨린다고 알려져 있다(Mengel과 Kirkby, 1987). 그러나 인산의 공급이 지나치게 많으면 생육이 억제되고 특히 Zn, Fe 또는 Cu 와 같은 미량원소의 흡수와 전류를 억제한다(林, 1982; Mengel과 Kirkby, 1987).

세계적으로 과수의 인산 결핍 현상을 관찰할 수 있었다는 사례는 매우 드물다고 알려져 있으며(Reuther 등, 1958) orange의 경우도 인산 부족 사례는 거의 찾아볼 수 없다고 하였다(Jones 등, 1968). 또한, 감귤에서 坂本 등(1964)에 의한 10 년간의 인산시비 시험이나 安達 등(1966)과 鄭 등(1982)의 인산 시비 시험에서도 뚜렷한 시비반응을 관찰할 수 없었다고 하였다. 일반적으로 영년생 과수에서 인산 흡수량이 적은 것 처럼(Greenham, 1980) 감귤에서도 인산 흡수량이 질소의 1/6 그리고 가리의 1/4배에 불과하며(中間, 1991) 감귤나무는 비교적 불가급태 토양 인산도 일부 흡수할 수 있다(Chapman, 1934; 鈴木, 1979). 또한, 安達 등(1966), 金과 吳 (1971), 洪과 鄭(1979), 邊 등(1981), 鄭 등(1982)의 연구에서도 인산 시비로 토양중의 유효인산 함량은 증가시킬 수 있었으나 수체의 생육과 과일 수량에 영향을 주지 못했다고 보고한 바 있다. 그러나 퇴비와의 혼용 시비로 Lisbon 레몬의 수량을 증가시킬 수 있었다고 하였다(Rodney 와 Sharples, 1961).

한편, 인산 시비 효과중에 가장 뚜렷한 것은 과일중의 산함량을 낮춘다는 보고(小林, 1960; 坂本 등, 1969; 鈴木, 1979)이며 과일의 착색(小林, 1960; 坂本 등, 1969)이나 화아의 분화(小林, 1960; 鈴木, 1979)도 촉진한다고 알려져 있다. 인산 공급이 부족할 경우에는 과피를 두껍게 하고 산함량을 증가시킨다고 보고하고 있다(坂本 등, 1969). 반면에 인산 공급이 과잉일 경우 세근수를 감소시

키고(Spencer, 1960; 鈴木 등, 1972; 鈴木, 1979) 착색이 불량해지고(鈴木, 1979) 당함량을 감소시켜 과일의 품질을 저하시킨다고(Embleton 등, 1971) 알려져 있다. 한편, 인산시비는 엽중 P, Ca, Mg의 농도를 증가시키나(Embleton 등, 1956; Bingham 등, 1958) P와 길항작용이 있는 N(Chapman, 1951), K(Embleton 등, 1952), Zn(Reuther와 Neller, 1944; West, 1938), Cu(Reuther 등, 1949; Bingham과 Martin, 1956)의 함량을 낮춘다고 보고하고 있다.

인산 비효 증진을 위해 사용된 석회는 유목에서는 신초의 생육과 간주비대를 향상시켰으나(鈴木 등, 1972) 결과수의 경우는 수체의 생육이나 감귤의 수량과 품질에 영향을 주지 않았고(鈴木 등, 1972; 邊 등 1981; 鄭 등 1982) Zn 등과 같은 미량원소의 결핍 증상(邊 등, 1981; 鄭 등, 1982)이 나타났다고 하였다. 또한, 湯田(1973)는 인산 시비 효과가 불투명하기 때문에 인산의 엽면 시비를 권장했으며 Eggert 등(1952)은 엽면시비된 인산비료의 반 이상이 뿌리로 이행될 수 있다고 보고하였다.

화산회토의 주점토 광물은 allophane 이며(愼 등, 1964; 愼과 金, 1975; 李와 李, 1975) 화학적으로 $Al(OH)$ 와 $Si(OH)_4$ 의 결합물이며 규반비는 0.3-2.0이다(愼과 金, 1975). 염기치환용량(CEC)은 일반 육지 토양(柳와 宋, 1984)에 비해 상당히 높은 20-200 me/100 g 범위이나 염기 흡착력은 약하며(愼과 金, 1975) 양호한 배수 특성 때문에 Ca, Mg, K 등의 염기와 Si 등이 심하게 용탈된다(愼 등, 1964; 李와 李, 1975). 이와같은 용탈은 토양의 산성화를 촉진시켜 Al의 용출량이 증가되어 유리 Al 양이 많아지게 된다(柳 등, 1974, 1975). Al의 용출량의 증가는 상대적으로 규반비를 낮추고 인산 고정력을 증가시켜 시비된 인산의 대부분은 Al-P와 Fe-P 형태로 불용화되어 토양중의 유효인산 함량을 낮추게 하는 원인이 된다고 알려져 있다(李와 李, 1975; 愼과 金, 1975). 토양에서의 인산 고정 속도는 비교적 빠르며 고정 초기 단계에서는 반응이 급속히 진행되는데 2-3 일 후에는 평형에 도달하며, 특히 온도가 높을 때 인산 고정량이 많다고 보고하고 있다(佐伯과 岡本, 1956).

이처럼 인산 고정능이 큰 화산회토는 인산이 작물 재배의 주요 제한 인자로

알려져 있어(朴 등, 1975) 보리와 콩의 경우 인산질 비료의 다비효과가 뚜렷하여 이를 많이 시용토록 권장했으며 특히, 수용성 인산질 비료보다 구용성 인산질 비료인 용성인비를 시비했을 때 보리와 콩의 수확량을 높일 수 있었다고 보고(金과 南, 1975) 한 바 있다.

일년생 작물은 짧은 기간 동안에 신속한 성장을 하기 위해서 일시에 많은 양의 양분을 요구하기 때문에 토양중에 많은 양의 양분을 공급해야 한다. 반면에 영년생 과수의 경우는 뿌리의 biomass가 크기 때문에 보다 효율적으로 양분을 흡수할 수 있다(Embleton 등, 1967). 또한 수체내에 양분을 저장할 수 있는 능력이 크기 때문에 단기간에 시비반응이 잘 나타나지 않고(Smith, 1962) 수령에 따른 성장양(과일 또는 수체)이 고려되어야 하기 때문에(中間, 1991) 시비 적량을 규정하기가 힘들다.

일본의 경우 감귤성목의 적정시비량은 질소(N)가 15-35 kg/10a, 인산(P_2O_5)이 10-26 kg/10a, 가리(K_2O)가 10-26 kg/10a 으로 알려져 있으며(千葉, 1982) 사과, 배, 복숭아의 시비량보다 다소 높은 경향이다(果樹の栽培新技術編輯委員會, 1978). 1950년대에는 시비량 증가에 의해서 감귤의 수량이 증가된다고 생각하여 비료를 다량 시비하였으나 계속된 시비로 토양의 이화학성이 악화되어 감귤나무의 영양장애가 발생된 1960년대 이후부터는(青葉과 關谷, 1977) 시비량을 감소하였다고 보고하였다(佐藤 등, 1974).

감귤원에 대한 인산 비료사용량이 정확하게 알려진 바 없으나 제주도 전체의 경지면적 10a당 인산비료소비량은 1970년에 5.84 P_2O_5 kg이었고(제주도통계년보:1971), 80년대에 계속적으로 증가되었으며(제주도통계년보, 1986, 1990), 1990년의 경우 26.5 P_2O_5 kg (제주도통계년보, 1991)으로 1970년보다 약 5배 많은 양이었다.

한편, 비료의 작물에 의한 이용율은 비료의 종류, 품종, 토양조건에 따라서 많은 차이를 나타내는데, 감귤에서는 일반작물보다 비료 이용율이 높은 편이고 질소(30-50 %)나 가리(30-40 %)에 비해 인산은 10-20 %로 흡수율이 낮다고 알려져 있다(韓 등, 1977).

감귤의 영양상태를 잘 나타내는 곳이 잎이므로(Chapman, 1967) 엽색을 관찰하거나 엽분석을 실시한 뒤 감귤나무의 영양상태를 조사하여 왔다(Chapman, 1967; Embleton 등, 1967; 金 등, 1969; 文 등, 1980; 石原, 1982). 그러나 육안에 의해 엽색을 관찰하는 방법은 양분이 현저히 결핍되었을 때에만 확인할 수 있고, 복합적인 요인에 의한 양분 결핍인 경우 판정이 더욱 곤란해진다(千葉, 1982). 또한, 엽중의 양분 함량은 수체의 수령, 엽령, 가지의 종류, 수세, 신초의 생육 상태, 과실의 수량, 성분 원소간의 상호작용, 정지전정, 계절과 재배지역등에 의해서 영향을 받기 때문에(韓 등, 1977; Righetti, 1987; 石原, 1982) 엽분석법을 가지고 감귤나무의 영양 상태를 진단하는 것은 어렵고, 토양내의 양분 함량과 밀접한 관계를 보이지 않는다고 보고하고 있다(Koo 등, 1958).

최근들어 식물의 생리 생화학적 반응을 이용하여 양분 영양 상태를 진단하는 기술에 대한 연구가 시도된 바 있다. Greenwood 등(1965)은 질소양분을 충분히 공급했을 때 잎 신장율(leaf elongation)의 증감을 측정하여 그 감소율이 40% 보다 더 컸을 때 질소 결핍이라고 판정하였다. 또한, Bar-Akiva 와 Sternbaum(1965)은 잎의 nitrate reductase 활성을 측정하여 어린 grapefruits 나무의 질소 결핍 여부를 알아낸 바 있다. Bouma 와 Dowling(1962)은 인산수준을 달리하여 생육시킨 식물체 잎을 채취한 뒤 크기의 변화량을 조사하여 인산 결핍 여부를 판정했었는데, 그 이후 1976년에는 인산 양분 stress 를 받은 식물체의 잎을 6 mM 인산용액에 하루 동안 넣은 뒤 꺼내어 광합성능을 측정하여 광합성능의 증가여부를 가지고 양분 영양상태를 관찰했다. Hewitt과 Thaham(1960) 그리고 Besford(1979)는 인산결핍을 진단하기 위해서 acid phosphatase 의 활성을 측정하였고 K 인 경우도 pyruvate kinase 활성을 조사하여 K 영양을 진단하는 방법을 연구한 바 있다(Besford, 1975).

한편, 식물의 생리적인 인산요구도를 조사하는 ^{32}P bioassay법의 원리는 절단근에 의한 인산흡수능과 인산공급량과는 부의 상관관계를 갖는다는 것인데 사경제배된 Birch와 Sycamore 유묘의 절단근을 ^{32}P 로 표지된 $5 \times 10^{-6}\text{M}$ 인산용액에 넣고 15분간 흡수시키면 인산흡수능과 인산공급량간에는 높은 부의 상관관계를 보였다

고 하였다(Harrison과 Helliwell, 1979). Dighton 과 Harrison(1983)는 Sitka spruce와 Logepole pine의 절단근에 의한 인산흡수능이 인산시비량 또는 수체의 생육과 부의 상관을 가졌다고 보고하였다. 특히, ^{32}P bioassay법은 유효인산함량이 낮은 토양에서 자라는 식물의 인산시비량 결정에 이용하면 좋다고 하였고(Harrison 등,1984) 영양진단이 힘든 산림(Sitka spruce, Logepole pine)의 인산 영양진단에 ^{32}P bioassay법을 활용하여 좋은 성과를 거두었다고 보고하였다(Harrison과 Dighton, 1986). 그리고 ^{32}P bioassay법이 고지대 구릉지 초지의 인산시비반응을 알아내는 매우 유용하다는 사실을 확인한 바 있다(Harrison 등,1986). 보리의 경우에서도 ^{32}P bioassay 법이 엽분석법이나 토양 분석법에 비해 신속 간편하고 정확하여 식물의 영양 결핍 여부를 조기에 알아낼 수 있다고 보고하였다(柳와 宋, 1988).



II. 재료 및 방법

시험 1. ^{32}P Bioassay 방법 확립

가. 공시식물

Citrus unshiu Marc. var. Miyagawa 2년생 감귤나무를 구입하여 석영모래가 들어 있는 원형 플라스틱 pot(직경 28 cm x 높이 22 cm)에 심고, P 수준을 0, 10, 50 mg/liter 로 다르게 조절한 과수 수경액(井上와 大井, 1963)을 3일 간격으로 2 liter 씩 공급하여 제주대학교 방사능 이용 연구소 온실에서 6개월간 사경제배한 뒤 실험 재료로 이용하였다. 또한, 제주대학교 감귤원에서 재배된 10년생 *Citrus unshiu* Marc. var. Miyagawa 품종도 공시식물로 사용했다.

나. ^{32}P Bioassay

140개 지점에서 감귤나무의 세근을 채취한 뒤 젖은 가아제로 싸서 실험실로 옮겼다. 세근시료의 표면에 부착된 모래등을 수돗물로 부드럽게 씻어낸 후, 자유공간 내의 인산을 제거하고 세포막의 안정성을 위해 figure 1 에서와 같이 5×10^{-4} M CaSO_4 용액(Leggett 등, 1965; Garter와 Lathwell, 1969; Epstein, 1972)에 30 분 동안 담갔다. 그런 다음 5×10^{-6} M KH_2PO_4 와 ^{32}P (740 Bq/ml) 용액이 들어 있는 비이커로 옮겨 20 °C 에서 정확히 15 분 동안 ^{32}P 를 흡수시킨 뒤 뿌리 표면에 있는 ^{32}P 를 제거하기 위해 흐르는 수돗물에서 5 분간 뿌리를 세척하였다(Garter와 Lathwell, 1969; Bowen, 1971). 세근을 약 200 mg 취한 뒤 증류수 15 ml 가 들어 있는 계측병에 넣고 Liquid scintillation counter(BF 8000, Berthold)를 사용하여 Cerenkov counting 방법(Elrick과 Parker, 1968)으로 ^{32}P 의 양을 측정(측정치=A) 하였다. 그 후 뿌리의 자유공간 내에 들어 있는 ^{32}P 의 양(능동흡수되지 않은양)을 산정키 위해 뿌리가 들어 있는 계측병을 상온에서 12 - 16시간 방치시킨 후 계측병 속에 있는 뿌리를 꺼내어 버리고 다시 방사능을 측정(측정치 = B) 하였다. 꺼낸 뿌리의 표면에 묻어 있는 물기를 흡습지로 제거한 뒤 생체중(생체중= X_2)을 달고 H_2SO_4 - H_2O_2 법(Ahn, 1987)으로 산분해시킨

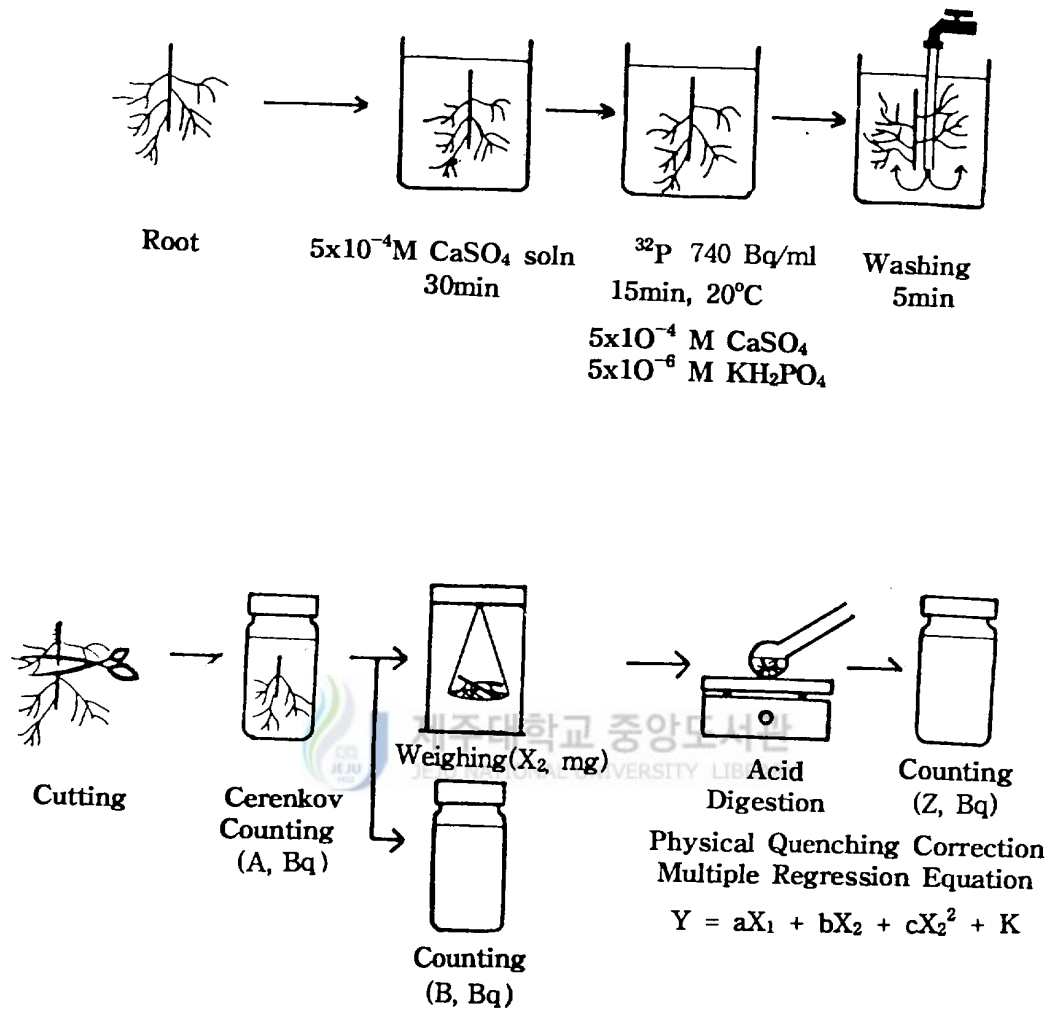


Figure 1. Flowchart of ^{32}P bioassay

후 이를 계측병에 옮겨 방사능을 측정하였다(측정치=Z). 산분해된 시료중에서 방사능 계측치와 뿌리의 생체중이 서로 다른 20개 시료를 선발하여 산분해전의 방사능 계측치($X_1=A-B$), 산분해후의 방사능 계측치(Z), 뿌리의 생체중(X_2), 그리고 뿌리 생체중의 제곱(X_2^2)간에 다중회귀를 구하고, 이식($Y = aX_1 + bX_2 + cX_2^2 + K, K: \text{constant}$)을 액체형광계수법으로 뿌리를 직접 측정할 때 생기는 물리적 소광을 보정하는 데 이용하기 위해 다중회귀방법으로 보정한 ^{32}P 방사능 값(Y)과 뿌리를 산분해시켰을 때 방사능 계측치(Z)와 비교했다.

뿌리에 의해 15분간 능동흡수된 인산양(amount of P-uptake) 즉 인산흡수능을 다음식으로 나타냈다.

$$\frac{\text{능동흡수된 } ^{32}\text{P양}(Z) \times S}{\text{뿌리생체중}(X_2) \cdot 15 \text{ min}} = \left[\frac{\text{Bq} \times (\text{pg P/Bq})}{\text{mg} \cdot 15 \text{ min}} \right] = \text{pg P/mg/15 min}$$

S(환산계수): P-amount(pg) per unit radioactivity(Bq) of P solution

다. 뿌리시료의 보관

^{32}P bioassay를 하기 위해서 채취한 뿌리의 보관 조건을 검토하기 위해 0, 10, 50 ppm의 P를 각각 공급하여 사경재배한 감귤나무의 뿌리를 채취하여 냉장(4 °C)과 상온(20 °C)에 뿌리를 18시간 보관한 뒤 '나'의 실험 방법으로 ^{32}P bioassay를 실시하여 인산흡수능(P-uptake)을 비교했다.

라. 대사 저해제의 처리

^{32}P bioassay 법이 대사적으로 요구되는 인산의 양을 산정한다는 것을 입증하기 위해 50 ppm의 P를 공급하여 사경 재배한 감귤나무 뿌리를 채취하여 5×10^{-3} M cyanide 처리 유무에 따른 인산흡수능(P-uptake)을 '나'의 실험 방법으로 조사 비교하였다.

마. 뿌리 채취 위치

흑색과 갈색토양에서 토심 그리고 중심으로 부터의 거리별 세근의 분포 특징과 ^{32}P 흡수력을 조사하고자 조생 온주 10년생 나무를 선정하여 수체 중심에서 수관까지 거리(M)를 기준으로 하여 이를 이등분한 지점(S)과 1.5배의 지점(L)에

대해 토양 깊이별로 즉, 0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm, 15-20 cm, 20-25 cm 범위에 있는 뿌리를 토양 시료 채취용 core(100 ml) 로 채취하여 core 내에 있는 세근의 생체중을 달고, 이를 앞서 서술한 ^{32}P bioassay 방법(실험 '나'의 방법)으로 인산흡수능을 조사했다.

한편, 토양에서 토심별 그리고 수체 중심으로부터 거리별로 감글나무의 근활력 분포를 조사하기 위해 500 ppm $\text{P}(\text{KH}_2\text{PO}_4)$ 를 carrier 로 함유한 ^{32}P 용액 10 ml(3.7×10^5 Bq/ml)를 플라스틱 주사기에 취하여 일정거리(S, M, L)와 토심(5, 10, 15 cm) 에 주입하였다(IAEA, 1975).

20일이 경과된 후 수체의 지상부를 2 개 부분으로 나누어 즉, 상부와 하부에 달린 싹을 처리구별로 각각 50 개를 채취하여 70 °C 에서 24 시간 말리고 이를 잘게 부수어 도가니에 넣고 MgNO_3 용액 25 ml를 가하여 110 °C에서 건조시킨 뒤 550 °C 에서 6 시간 회화시켰다. 회화된 시료에 소량의 증류수와 $\text{HNO}_3(1:2)$ 용액 10 ml 를 가하여 약간 가열한 후 Toyo No. 5B 여과지를 이용 그 여액이 최종 100 ml 가 되도록 하였다. 5 % ammonium molybdate와 15 % ammonium nitrate 각각 25 ml 씩을 가하여 60 °C의 water bath 에서 30 분 동안 반응시키고(Kolthoff 등, 1969), 원심분리하여 ammonium phospho-molybdate 침전물을 얻었으며, 여기에 $\text{NH}_4\text{OH}(1:5)$ 5ml를 가하여 침전물을 녹인 뒤 이를 다시 계측병에 옮겨 Liquid scintillation counter(BF8000, Berthold) 로 ^{32}P 를 측정(Elrick 과 Parker, 1968)하였다.

또한, 감글나무의 결과지 또는 비결과지와 연결된 뿌리(田中 등, 1960)와 수체를 중심으로 동서남북 방향으로 뻗은 가지와 연결된 뿌리를 채취하여 인산흡수능을 측정 비교했다.

감글나무 4주를 한 처리구로 하여 처리구당 뿌리 채취 지점의 수를 결정하기 위해 감글나무 주변의 1 - 11개 지점에서 뿌리를 채취한 뒤 ^{32}P bioassay 방법('나'의 실험)으로 인산흡수능을 조사하여 인산흡수능의 변이계수를 구하여 비교하였고, 포장에서 ^{32}P bioassay 실험시기를 결정하기 위해 계절별(5, 7, 9월)로 감글원의 144지점에서 세근을 채취하여 인산흡수능을 비교하였다.

시험 2. pot 재배 실험

가. 공시식물의 재배

1) 사경재배

Citrus unshiu Marc. Miyagawa와 Okitsu 감귤나무 2년생을 구입하여 석영모래가 들어 있는 원형 플라스틱 pot(직경 28 cm x 높이 22 cm)에 5 반복으로 심어 3월부터 6 개월 동안 재배하였다. 이때 영양액은 과수 수경액(井上和 大井, 1963)을 기본으로 하여 P의 수준만 0, 2.5, 5, 10, 20, 50, 100 ppm 으로 달리하여 3 일 간격으로 2 liter 씩 공급하였다.

2) 토경재배

감귤 재배 지역의 토양과 품종을 고려하여 흑색토양이 27 kg 들어 있는 원형플라스틱 pot(직경 41 cm x 높이 33 cm)에는 *Citrus unshiu* Marc. Miyagawa 2년생을 그리고 갈색토양이 37 kg 들어 있는 원형플라스틱 pot(직경 41 cm x 높이 33 cm)에는 Okitsu 2년생을 각각 심었다. 그 후 흑색토양의 Miyagawa에는 0, 8, 16, 32, 65, 130, 200 kg P₂O₅ /10a 수준으로, 갈색토양의 Okitsu에는 0, 4, 8, 16, 32, 65, 130 kg P₂O₅ /10a 수준으로 용성인비를 3월에 기비로 주고 5반복 시비처리를 하여 6개월간 재배하였다. 한편, 3월에 질소질 비료로 요소를 13 kg N/10a을 모든 pot 에 시비하였고, 가리질 비료 경우 흑색토양의 pot에는 13 kg K₂O/10a 그리고 갈색토양의 pot에는 8 kg K₂O/10a의 염화가리를 공급하였다.

시험에 사용된 공시 토양의 특성을 보면 table 1과 같다. 토양 pH, 유효인산과

Table 1. Chemical properties of soils used for the pot experiment.

Soil	pH (1:5 H ₂ O)	Available P (mg/kg) (Bray No.1)	Exchangeable bases (me / 100g)			CEC (me / 100g)
			K	Ca	Mg	
Black	5.10	20.0	1.01	6.83	0.16	19.0
Brown	5.05	24.0	0.48	3.99	1.35	12.4

치환성 염기(K, Ca, Mg) 함량은 흑색이나 갈색토양이 모두 비슷하였으나, 양이온 치환 용량은 흑색토양이 높은 값을 보였다.

나. 인산흡수능 측정

감귤 나무를 6 개월 동안 사경 또는 토경재배를 실시한 뒤, 감귤 뿌리를 채취 하여 시험 '1의 나' 방법으로 ^{32}P bioassay를 실시하여 인산흡수능을 조사했다.

다. 엽중 P 분석

6 개월 동안 사경 또는 토경재배한 감귤나무 잎을 채취하여 0.1 % 중성세제로 잘 씻고나서 수돗물과 이온교환수로 각각 3 회 헹구고(Labanauskas, 1966) 70 °C 로 조절된 건조기에서 24 시간 말린 후 2 mm 이하의 크기로 엽을 분쇄하였다 (Embleton 등, 1967; 韓 등, 1977). 그 후 분말시료 1 g 을 취하여 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 법(Ahn, 1987; 농진청 토양화학분석법, 1988) 으로 분해시킨 뒤 최종 부피를 50 ml로 맞추고, 분해액 5 ml를 취하여 ammonium molybdo-vanadate 법으로 발색시킨 뒤 UV/vis spectrophotometer (Perkin Elmer, Lambda 3) 420 nm에서 비색정량을 실시하였다(Ahn, 1987; 농진청 토양화학분석법, 1988).

라. 토양 유효인산분석

토경재배한 감귤나무에서 세근을 채취하여 ^{32}P bioassay 를 실시할 때, 뿌리 주변의 토양을 함께 채취하여 음지에서 말린 뒤 0.5 mm 체를 통과시켰다(농진 청 토양화학 분석법, 1988). 그 후 풍건세토 1 g 에 Bray No.1(0.03 N NH_4F + 0.025 N HCl) 용액 7 ml를 가하여 1 분간 진탕한 후 여과하여 SnCl_2 환원법으로 비색정량하였다(농진청 토양화학 분석법, 1988).

마. 신초길이 측정

인산 공급 수준별로 6 개월간 사경 또는 토경재배한 감귤나무의 신초길이를 조사 하였다(농진청 농사시험연구 조사기준, 1983).

시험 3. 포장 실험

가. 포장선정과 시비관리

Table 2 에서 보는 바와 같이 토양 유효인산이 상이한 제주도내 7개소의 감귤

원을 실험 포장으로 선정한 뒤, 인산 시비 수준을 6개 수준으로 설정하여 1989년부터 3년간 인산 시비 관리를 하였다.

Table 2. Specification of the experimental fields.

Field code (Available P, mg/kg)	Location	Plantation altitude (m)	Soil type	Variety	Tree age (years)
A (5.5)	Donghong-dong Sogwipo-shi	80	Black	<i>Citrus unshiu</i> Marc. var. Miyagawa	10
B (26.1)	Ara-dong Cheju-shi	230	Brown	<i>Citrus unshiu</i> Marc. var. Okitsu	10
C (30.7)	Topyong-dong Sogwipo-shi	90	Black	<i>Citrus unshiu</i> Marc. var. Miyagawa	20
D (89.0)	Sinyae-ri Namwon-up Namcheju-gun	160	Black	<i>Citrus unshiu</i> Marc. var. Miyagawa	10
E (158)	Sinyae-ri Namwon-up Namcheju-gun	160	Black	<i>Citrus unshiu</i> Marc. var. Miyagawa	20
F (162)	Sinyae-ri Namwon-up Namcheju-gun	75	Black	<i>Citrus unshiu</i> Marc. var. Miyagawa	10
G (294)	Chochon-ri Chochon-up Bukcheju-gun	50	Brown	<i>Citrus unshiu</i> Marc. var. Okitsu	10

또한 각 포장의 인산 시비량은 토양의 특성이나 수령을 고려하여 정하였는데, 흑색토양의 조생은주 10년생(A, D, F포장)은 0, 14, 28, 42, 70, 140 kg P₂O₅/10a

수준으로, 그리고 20년생(C, E 포장) 은 0, 20, 40, 60, 100, 200 kg P₂O₅/10a 수준으로 한편, 갈색토양의 10 년생 조생 온주는 0, 7, 14, 21, 35, 70 kg P₂O₅/10a 수준으로 용성인비를 시비하였다. 그리고 인산질 비료는 전량기비로 3 월 초에 시비한 반면에 질소와 가리의 경우 흑색토양의 조생온주 10년생(A,D,F 포장)은 18 kg N/10a 과 18 kg K₂O/10a, 20년생은 28 kg N/10a 과 28 kg K₂O/10a, 그리고 갈색토양의 10년생 조생온주는 15 kg N/10a 과 12 kg K₂O/10a 씩의 요소와 염화가리를 3월, 6월과 10월에 나누어 (질소= 50 : 20 : 30, 가리 =30 : 40 : 30) 시비하였다.

선정된 포장의 화학적 특성을 살펴보면 table 3과 같다. 유효인산 함량은 포장마다 차이가 컸으며 흑색토양은 5.0-162 ppm 이었고, 갈색토양은 26.1-294 ppm 이었다. 그리고 치환성 염기와 CEC의 경우 흑색토양이 갈색토양보다 높은 경향이였다.

Table 3. Chemical properties of soils used for the field experiment.

Field code	pH (1:5 H ₂ O)	Available P (mg/kg) (Bray No.1)	Exchangeable bases (me/100g)			CEC (me/100g)
			K	Ca	Mg	
A	4.60	5.5	0.67	1.05	0.48	16.7
B	4.80	26.1	0.66	1.45	0.74	16.1
C	4.60	30.7	0.70	1.85	0.32	19.3
D	4.78	89.0	1.10	1.60	1.10	19.5
E	4.70	158	1.34	3.75	1.32	19.2
F	4.58	162	1.49	5.15	1.59	21.7
G	4.50	294	0.91	3.20	0.97	16.1

나. 인산흡수능 측정

감귤나무의 수관 바깥 지점의 5-15 cm 토심에서 새근을 5 월과 7 월에 채취하여 젖은 가아제로 싸서 실험실로 운반한 뒤 시험 '1의 나' 실험방법으로 ³²P bioassay 를 실시했다.

다. 엽분석

^{32}P bioassay 를 실시하는 5 월과 7 월에 감귤나무의 신엽과 구엽을 채취한 뒤 시험 '2의 다' 방법으로 화학분석용 시료를 조제하였다.

1) N 분석: 분해액을 10 배로 희석시킨 뒤 indophenol-blue 법으로 발색시킨 뒤 630 nm 에서 OD 를 측정(UV/vis spectrophotometer, Perkin elmer, Lambda 3) 하였다(Ahn, 1987).

2) P 분석: 분해액을 시험 '2의 다' 방법으로 비색정량을 하였다.

3) K, Mg, Ca, Mn, Zn 분석: 분해액을 5배 희석하거나 직접 사용하여 Atomic absorption spectrophotometer(Perkin elmer, Model 2380)에서 분석하였다(Ahn, 1987; 농진청 토양화학분석법, 1988).

라. 토양 분석

^{32}P bioassay 를 실시하기 위해 뿌리를 채취할 때, 근권 근처의 토양도 함께 채취하여 시험 '2의 라' 방법으로 풍건 세토를 만들었다.

1) 토양 pH : 토양 5 g을 50 ml 비이커에 취하고 증류수 25 ml를 가하고, 가끔 유리봉으로 저어 주면서 1 분간 방치후 pH를 측정했다(농진청 토양화학분석법, 1988).

2) 유효인산 : 토양시료를 시험 '2의 다' 방법으로 비색 정량하였다.

3) 총인산: 토양 0.5 g 을 취하여 농질산으로 토양 유기물을 분해시킨 뒤 60 % 과염소산을 가하여 토양을 분해하고, 여액을 ammonium molybdo-vanadate 방법으로 비색정량을 실시하였다(농진청 토양화학분석법, 1988).

4) 치환성 염기(Ca, Mg, K): 토양 5 g 에 1N NH_4OAc 용액 50 ml 를 가하여 30 분간 진탕한 뒤 여과하여 Atomic absorption spectrophotometer (Perkin elmer, Model 2380) 로 측정하였다(농진청 토양화학분석법, 1988).

5) 양이온 치환용량(CEC) : 토양 2.5 g 을 취하여 Brown 간이법으로 수소이온 농도를 구한 뒤 치환성 염기의 양을 합하여 CEC 값으로 하였다(농진청 토양화학 분석법, 1988).

마. 신초길이 측정

각 포장의 인산 처리별 감귤나무의 신초 길이를 6 월에 현지 포장에서 자를 가지고 직접 측정하였다(시험 ' 2의 마' 방법).

바. 감귤의 당과 산함량 조사

10 월 하순에 각 포장의 인산 처리구별로 감귤을 수확하여 과피를 벗기고 착즙한 뒤, Refractometer(ATC-1, ATAGO)를 가지고 Brix 당도를 측정하였고 착즙시료 5 ml 를 취하여 0.01 N NaOH 로 중화적정을 실시하여 적정산 함량을 구했다(大阪大農學部編 園藝學實驗實習, 1981). 한편, Brix 당도/적정산의 비를 구하여 감산비로 나타냈다.

사. 감귤 생산량 조사

각 포장의 인산 처리구별로 배치된 감귤나무로부터 감귤전체를 11월 초에 수확한 뒤 저울에서 무게를 달아 생산량을 조사했다.

시험 4. 농가 감귤원에서 인산흡수능, 토양유효인산 그리고 엽분석

조생온주 10-20 년생이 재배되고 있는 제주도 내 60 개소의 농가 감귤원에서 7월에 세근을 채취하여 시험 '1의 나' 실험 방법으로 ^{32}P bioassay를 실시하였고, 이때 엽과 토양을 함께 채취하여 시험 '2의 다'와 시험 '2의 라' 실험 방법으로 엽중 P 함량과 토양 유효인산 함량을 분석하여 인산흡수능과 엽중 P 함량 그리고 토양 유효인산과의 관계를 조사하였다.

[통계처리]

^{32}P bioassay 에 의한 인산흡수능, 엽분석, 토양분석, 생육조사, 감귤수량 및 품질에 대한 실험 결과를 분석하기 위해 SAS package를 이용하여 분산 분석, Duncan's 다중검정, 회귀, 상관, t-검정을 실시하였다(SAS/STAT guide for PC, 1985).

III. 결과 및 고찰

시험 1. ^{32}P Bioassay 방법 확립

감귤나무의 영양 진단에 활용될 수 있는 ^{32}P bioassay 실험 방법을 확립한 결과는 다음과 같다.

가. 뿌리중 ^{32}P 양의 액체 형광 계수치에 대한 방사능의 물리적 소광 보정

β 선은 γ 선보다 투과력이 약하기 때문에 β 선 표지 시료를 측정할 때, 시료에서 방출된 β 입자가 시료자체에 자기흡수되어 시료의 방사능 측정효율을 떨어 뜨린다(IAEA, 1964, 1975). 그러므로 액체형광계수법으로 뿌리중에 흡수된 ^{32}P 방사능을 측정할 때에도 β 입자가 뿌리자체에 자기흡수되므로써 야기되는 물리적 소광현상을 제거하기 위해 뿌리를 산분해시킨 뒤 방사능을 계측한다(IAEA, 1964). 그런데 본 실험에서와 같이 한번에 측정해야 할 시료가 많을 경우(300 - 1000) 뿌리를 산분해시키기 위해서는 많은 시간과 노력, 시약이 소모된다. 따라서 시료전체를 분해시키지 않고서도 감귤나무 뿌리에 의해 자기흡수되어 소멸되는 방사능을 보정할 수 있는 방법을 확립하고자 뿌리를 직접측정했을 때의 방사능 계측치, 산분해 시킨 뒤 측정된 ^{32}P 방사능 계측치 그리고 직접 측정된 값에 대하여 물리적 소광을 보정하여 얻은 계산치간의 관계를 비교하였다. figure 2 에서 보는 바와 같이 산분해시킨 뒤 측정된 ^{32}P 방사능 계측치와 뿌리를 직접 측정했을 때의 방사능 계측치와 높은 유의 상관($R^2=98.2\%$)을 보이고 있었으나, 물리적 소광보정식으로 뿌리자체에 자기 흡수된 ^{32}P 방사능 양을 보정하여 얻은 값과는 더 높은 정의 유의상관($R^2=99.5\%$)을 나타내 ^{32}P 방사능 측정치의 정확도를 향상시켜 주었다. Sitka spruce 또는 Logepole pine(Harrison과 Dighton, 1986) 그리고 보리(柳와 宋, 1987)의 절단근에 의한 ^{32}P 흡수능을 조사할 때, 뿌리의 biomass를 고려하는 물리적 소광보정식을 사용하여 실험의 신속성과 간편성의 효과를 얻었다고 보고한 바 있는데, 감귤나무의 절단근에 의한 ^{32}P 흡수능을 측정할 때에도 채취된 모든 뿌리시료를 산분해 시키지 않더라도 뿌리의 생체중이 다른

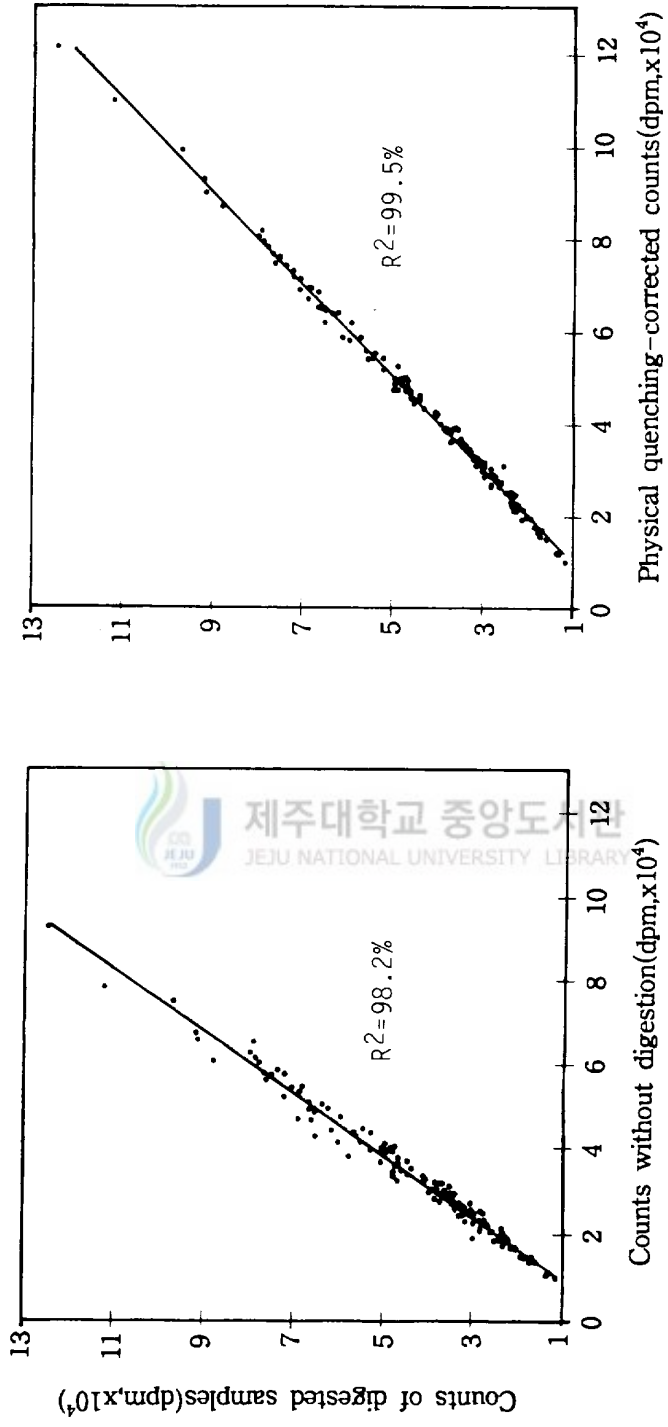


Figure 2. Comparison of ³²P counts for the non-digested root samples when they were physical quenching-corrected and not corrected.

20개의 뿌리시료만 무작위로 추출하고 뿌리를 직접 측정했을 때의 ^{32}P 방사능 (X_1) 그리고 이를 산분해시켰을 때의 ^{32}P 방사능 계수치(Z), 뿌리의 생체중 (X_2), 뿌리의 생체중 제곱(X_2^2) 간에 다중회귀식($Y = -4169 + 1.26 X_1 + 14.5 X_2 + 0.155 X_2^2$, $R^2 = 99.4\%$)을 구하므로써 좀더 신속하고 편리하게 감귤나무의 뿌리에 흡수된 ^{32}P 양을 정량할 수 있음이 확인되었으므로 이는 ^{32}P bioassay법에 의한 감귤의 인산영양진단에 필요한 많은 양의 시료를 취급하는 데 매우 유용하게 이용될 수 있으리라고 생각한다.

나. 뿌리시료의 저장 조건

야외 포장에 대한 ^{32}P bioassay 실험을 하는 경우 채취한 뿌리를 실험실로 가져올때 까지 뿌리의 활력을 유지시키는 것은 영양진단 실험 과정에서 매우 중요한 일이므로 figure 3 에서 보는 바와 같이 뿌리시료의 저장조건에 따른 인산 흡수능을 조사했다.

20 °C 에서 보관한 뿌리의 인산흡수능은 인산공급 수준이 증가함에 따라 감소 되는 경향을 보여 ^{32}P bioassay 원리(Harrison 과 Helliwell, 1979) 에 잘 일치 된 결과를 보였다. 그러나 4 °C 에 뿌리를 보관한 경우에는 뿌리의 인산 흡수 기작이 저온의 영향을 받아 인산흡수능이 낮아졌고, 인산공급 수준별 증감의 경향을 보이지 않았다. 따라서 ^{32}P bioassay 실험용 시료는 20 °C(상온) 에서 보관하는 것이 좋다고 사료된다.

다. 대사 저해제의 영향

식물은 토양 용액 속에 매우 낮은 농도로 존재하는 인산을 능동흡수하여 토양 용액보다 100-1000배 정도 높게 근세포에 인산을 흡수 축적할 수 있다(Mengel과 Kirby, 1987; Bielecki와 Ferguson, 1983). ^{32}P bioassay 에서의 인산흡수 즉, 절단근에 의한 인산흡수가 과연 대사적인 능동흡수인지를 알아보기 위해서 호흡 저해제인 KCN(Goodwin과 Mercer, 1983)을 처리하여 그 영향을 조사하였다(table 4). KCN을 처리 하였을 때의 인산흡수능이 처리하지 않았을 때에 비해 현저히 떨어진 것은 ^{32}P bioassay 법에 의해 측정된 인산흡수능 값이 식물의 생리적인 대사요구에 의해 흡수(능동흡수)된 인산 양임을 나타낸 결과이다.

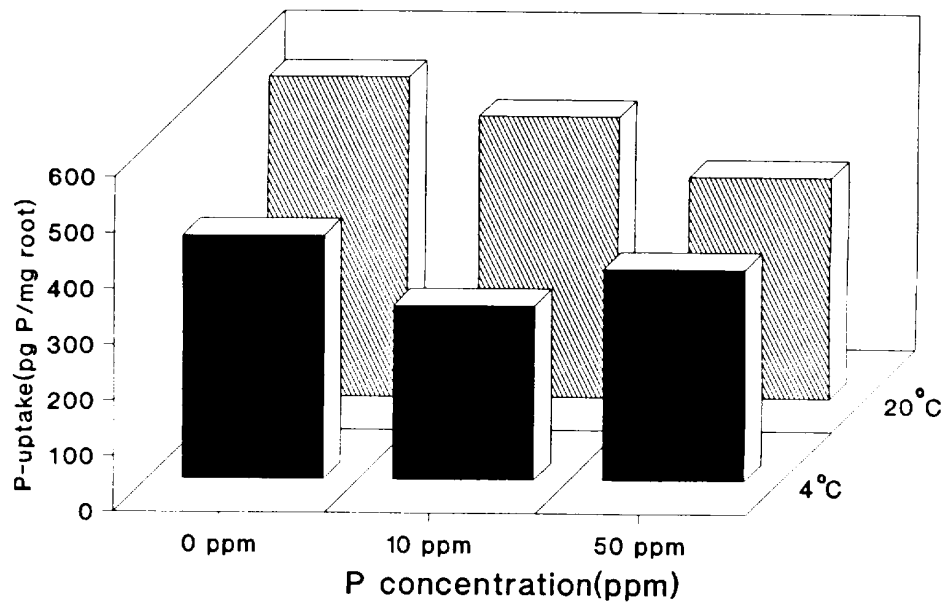


Figure 3. P-uptake by the excised roots of citrus trees stored under the different temperatures after citrus trees were grown at 0,10,50 mg P/liter.

Table 4. Effect of KCN on the P-uptake by the excised roots of sand-cultured citrus tree.

Treatment	P uptake (pg P mg root ⁻¹)
control (-KCN)	542 ± 95*
5x10 ⁻³ M KCN	44 ± 4.0

* : mean ±SD

라. ^{32}P bioassay 실험용 뿌리 채취 조건 확립

^{32}P bioassay 실험용 뿌리를 채취하기 위한 최적위치 즉, 수체로부터의 거리와 토양표면으로 부터의 깊이를 알기 위해 감귤나무의 세근 분포와 인산흡수능, 근활력을 조사하였다. figure 4 에서 보는 바와 같이 감귤나무의 세근은 수관 안쪽보다 바깥쪽에 비교적 잘 분포되어 있었고, 토심별로 비교할 때 흑색토양에서는 0-15 cm 깊이에 그리고 갈색토양에서는 0-20 cm 의 깊이에 대부분 분포되어 있었다. 그러나 흑색토양이 암갈색 토양에서 보다 뿌리의 표층 집적도가 더 높았다. 한편, 뿌리에 의한 인산흡수능은 토심이 깊어질수록 흑색과 갈색토양 모두 높아지는 경향을 보였는데, 이는 시비된 인산이 하층토로 이동하기 어려워 (中間 등, 1961) 심토보다 표층 가까이에서 상대적으로 더 많은 토양 유효인산함량이 존재(韓 등, 1977)하기 때문이라고 생각한다.

감귤나무로부터의 거리별 그리고 토심별로 ^{32}P 를 주입한 뒤, 앞으로 이행된 ^{32}P 양을 조사한 결과는 figure 5 와 같다. 주입된 ^{32}P 의 앞으로의 이행은 수관 바로 밑 지점의 안쪽보다 바깥쪽에서 더 많았고, 토심별로 봤을 때 15 cm 보다 5-10 cm 에서 더 많았다. 이는 일반 농가에서 비료를 주로 표층에 시비함으로써 수체의 성장과 영양생리대사 작용에 관여하는 세근이 표층에 많이 집적되었기 때문이라고 생각한다. 따라서 figure 4와 5의 실험 결과를 참고로 할 때 ^{32}P bioassay 실험용 뿌리는 수관 바깥쪽 5-15 cm 부근의 세근을 채취하는 것이 감귤나무의 인산영양 상태를 좀 더 정확하게 파악할 수 있다고 판단된다.

일반적으로 결과지와 비결과지간의 영양 생리 특성이 서로 다른 것으로 알려져 있어 엽분석에서는 수세가 안정된 비결과지의 잎을 채취하여 이용한다(石原, 1982). 그러나 인산흡수능은 table 5에서 보는 바와 같이 결과지와 비결과지 뿌리간에 차이를 보이지 않았다. 그러므로 ^{32}P bioassay 실험용 감귤뿌리는 결과지나 비결과지에 관계없이 채취할 수 있음을 의미하는 것이다.

또한, table 6 에서 보는 바와 같이 뿌리 분포 방위(동, 서, 남, 북)별로 채취된 뿌리의 인산흡수능간에 통계적 유의차를 나타내지 않는 것으로 보아 뿌리의 분포 방향에 관계없이 뿌리를 채취해도 무방하다고 생각된다.

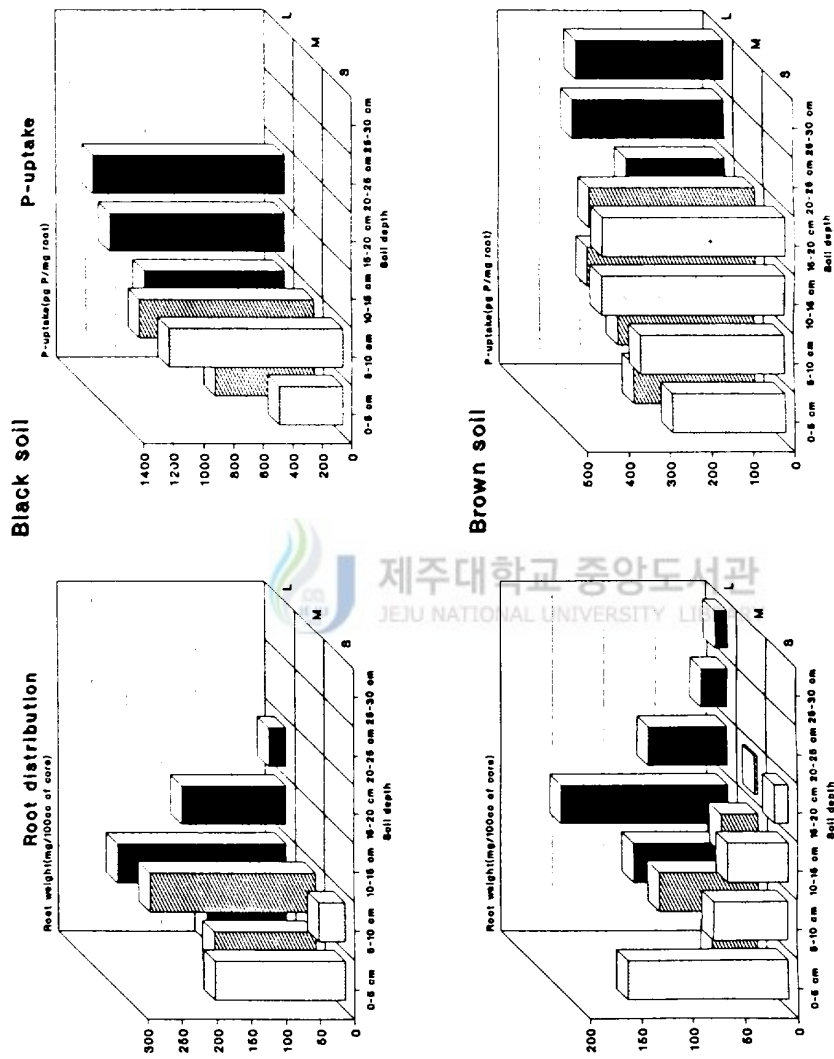


Figure 4. Distribution of the citrus fine roots and their P-uptake activity.
 S: half the distance from the tree base to the edge of the canopy.
 M: the edge of the canopy.
 L: one and half the distance from the tree base to the canopy edge.

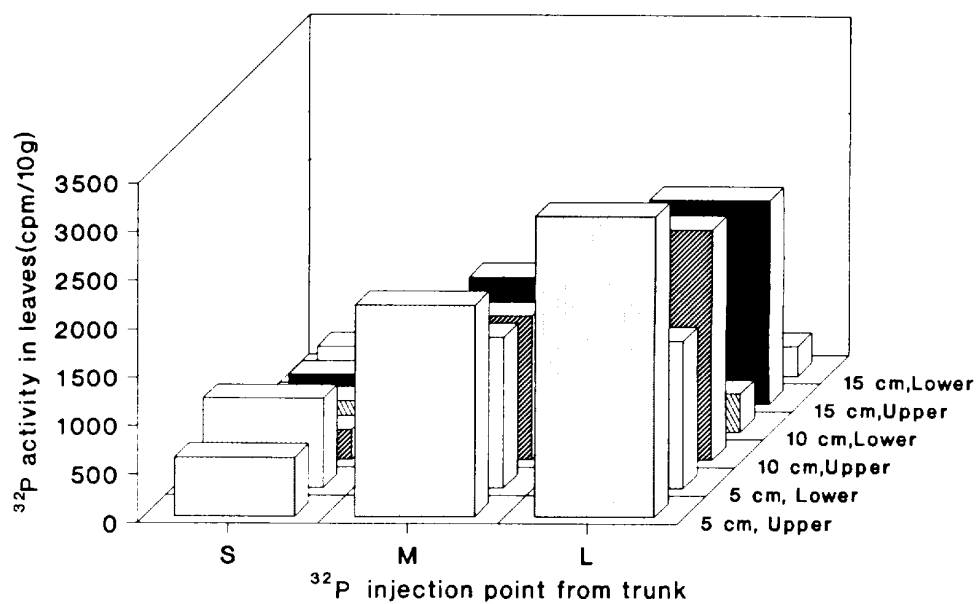


Figure 5. Distribution of citrus root activity measured by the ^{32}P injection techniques.

S: half the distance from the tree base to the edge of the canopy.

M: the edge of the canopy.

L: one and half the distance from the tree base to the canopy edge.

^{32}P bioassay 포장실험을 할 때, 한 처리구에서 채취할 뿌리 시료의 채취지점수를 확정하기 위하여 시료용 뿌리수를 상이하게 채취한 뒤 인산흡수능의 변이계수를 구하여 table 7 에 나타내었다. 뿌리 채취 지점수가 5 미만일 때에는 변이계수가 23.9-29.6 으로 비교적 큰 편이었으나, 7 이상일 때에는 그 계수가 낮았고 차이를 보이지 않았다. 따라서 뿌리 시료의 적정 채취지점수는 한 처리구에서 7-9 사이가 적당할 것으로 사료된다.

한편, 계절별 감귤나무의 인산흡수능은 figure 6에서와 같이 5월에서 9월로 갈수록 낮아 지는 경향을 보였다. 5 월에는 감귤나무의 영양생장(신초와 신엽)과 뿌리의 신장이 활발하기 때문에 인산의 요구도가 높아(韓 등, 1977; 石原, 1982) 인산흡수능이 가장 컸고, 반면에 9월에는 감귤나무의 인산 생리 기능이 타 계절보다 저하되어 인산요구도가 적었기 때문에 인산흡수능이 점차 낮아진 것으로 해석된다. 이와 같이 5 월에 비록 인산흡수능이 컸으나 뿌리의 발육이 고르지 못해 인산흡수능의 편차가 타 계절보다 컸음을 감안할 때, 포장에서의 ^{32}P bioassay 실시 시기는 뿌리의 발육이 안정되어 지상부로의 양.수분 공급기능을 정상적으로 수행할 수 있는 7 월경이 적당하다고 사료된다.

시험 2. pot 재배실험

^{32}P bioassay 법의 원리가 감귤에서 잘 적용되는지를 조사하기 위해 2년생 조생온주 Miyagawa와 Okitsu를 가지고 사경 재배 실험을 실시하여 그 결과를 figure 7과 table 8에 나타냈다.

Birch 와 Cycamore 유묘 (Harrison과 Helliwell, 1979)의 사경재배 실험결과에서와 같이 2 년생 조생온주 Miyagawa나 Okitsu 의 인산흡수능이 인산공급량이 증가함에 따라 지수함수적으로 감소한 것은 감귤나무에서도 ^{32}P bioassay 원리가 적용될 수 있음을 말해주는 것이다. 그러나, 인산 공급 수준과 엽중 인산 함량간에는 유의성 있는 상관을 나타내지 않았으며, Miyagawa와 Okitsu 품종간의 인산흡수능도 통계적인 유의차가 없었다.

사경재배 실험에서 인산공급이 감귤나무의 신초 생육에 영향을 주지 않았다는 점

Table 5. P-uptake of root connected to nonfruiting branches and fruiting branches.

Variables	P-uptake (pg P mg root ⁻¹)
Non-fruiting branch	346.4 ± 104*
Fruiting branch	304.7 ± 85.9
T test	0.9951 (P < 0.3332)

* : mean ±SD

Table 6. Root direction and P-uptake.

Root direction	P-uptake (pg P mg root ⁻¹)
Eastern	391 ^a
Western	445 ^a
Southern	427 ^a
Northern	376 ^a

* Duncan's multiple range test: significant at 5 % level.

Table 7. Optimum number of root samples for the ³²P bioassay.

Number of root samples	P-uptake (pg P mg root ⁻¹)	CV (%)
1	419	-
3	422	29.6
5	395	23.9
7	359	16.7
9	398	17.4
11	392	19.6

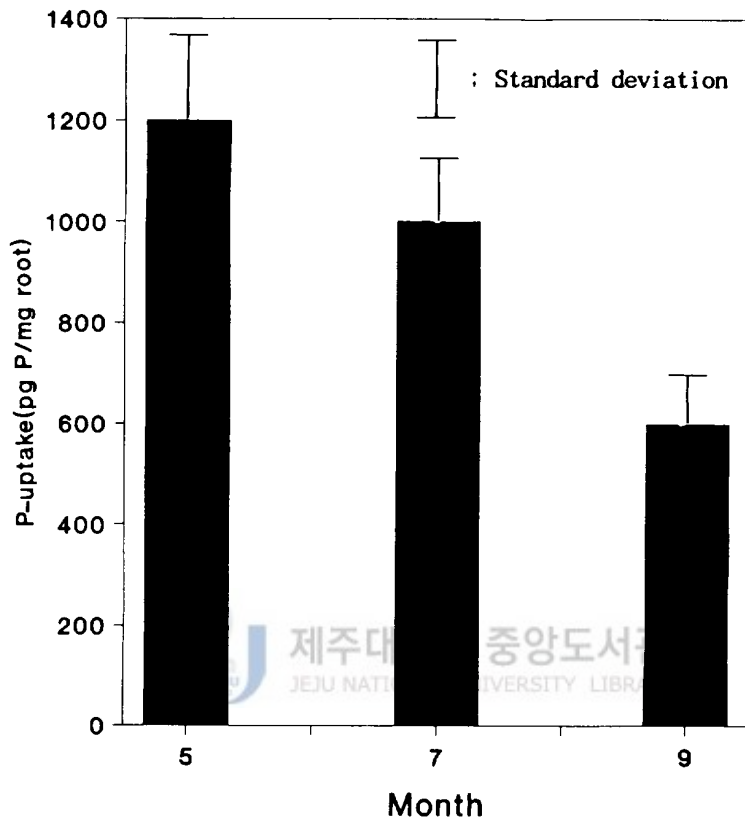


Figure 6. Seasonal change of P-uptake by the excised citrus roots.

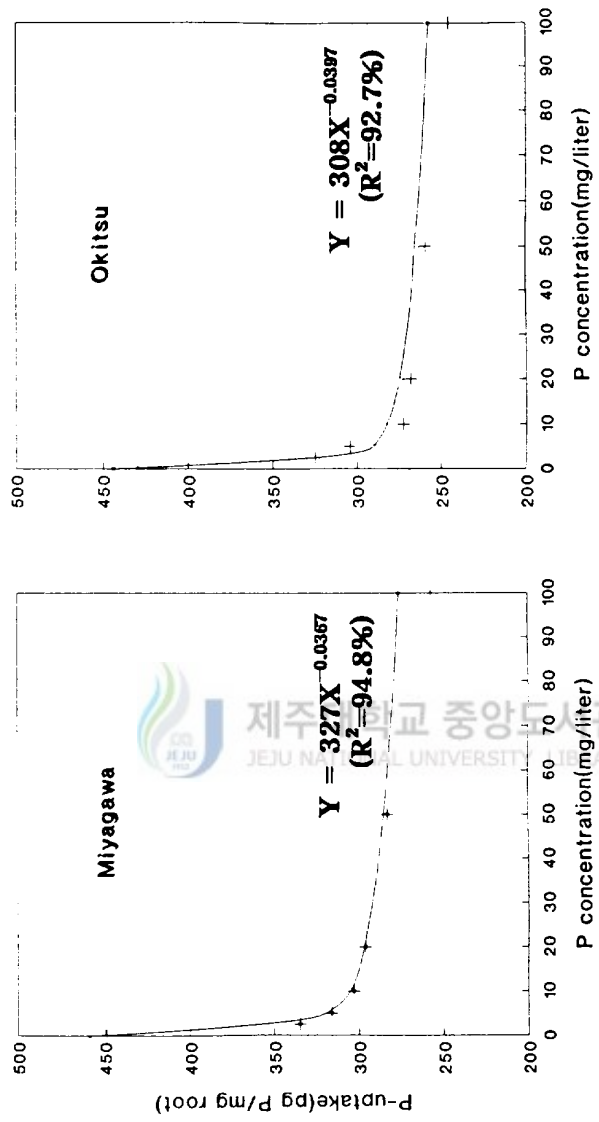


Figure 7. Relationship between P uptake and P concentrations of the sand culture solution.

은 질소나 가리에 비해 인산의 요구도가 그 만큼 적어(石原, 1982) 수체 생육에 영향을 적게 주었기 때문이라고 생각한다.

Table 8. P-uptake, P content of leaves, and branch length of the citrus trees sand-cultured at the different P levels.

Variety	P added (ppm) [A]	P-uptake (pg P mg root ⁻¹) [B]	P content in leaves (%) [C]	Branch length (cm) [D]
Miyagawa	0	449	0.15	6.45
	2.5	335	0.19	5.51
	5	316	0.24	7.37
	10	303	0.14	9.39
	20	296	0.16	13.4
	50	283	0.20	5.51
	100	257	0.14	11.0
Okitsu	0	430	0.19	9.50
	2.5	325	0.20	10.6
	5	304	0.19	14.7
	10	272	0.23	10.5
	20	265	0.24	11.2
	50	258	0.21	9.97
	100	245	0.20	9.42

* Correlation: Miyagawa: A vs B = -0.97**
Okitsu : A vs B = -0.96**

또한, 인산시비량과 인산흡수능 그리고, 토양 유효인산과의 관계를 알아보기 위해 토양을 채운 pot에서 2년생 조생은주 Miyagawa와 Okitsu를 토경재배하였던 결과 figure 8 과 table 9 에서와 같이 인산 시비 수준이 증가함에 따라 Miyagawa 나 Okitsu의 인산흡수능은 지수적인 부의 감소를 보였으나 엽중 인산 함량과 시비 수준간에는 일정한 상관을 나타내지 않았다. 그러므로 ³²P bioassay 법이 엽분석보다 더 정확하게 감귤의 인산 영양 진단에 응용 할 수 있을 것으로 판단된다. 토양중 유효인산함량은 인산 시비량이 증가함에 따라 높

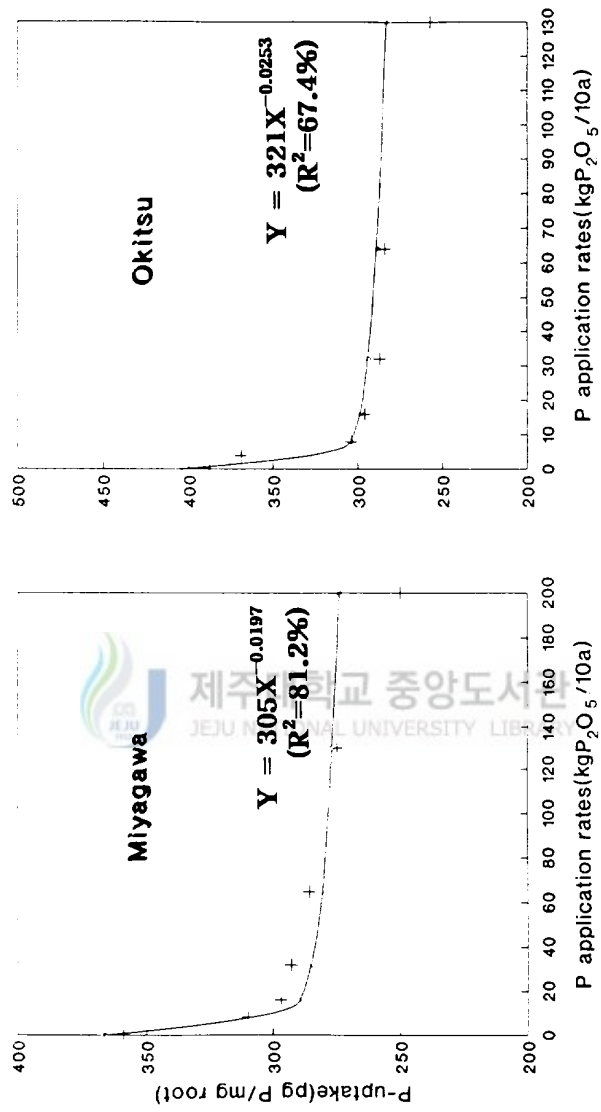


Figure 8. Relationship between P-uptake and P application rates in the pot culture.

아지는 경향을 보였고, 인산흡수능과는 정의 유의 상관을 보인 반면에 엽중 인산 함량과는 거의 상관이 없었다. 한편, 신초의 길이는 인산 시비 수준간에 일정한 경향을 보이지 않았으나 Miyagawa 보다 Okitsu 품종이 다소 양호한 생육을 보였는데, 이는 품종간 특성의 차이(韓 등, 1977) 에 기인된 것으로 사료된다.

Table 9. P-uptake, P content of leaves and branch growth of the pot-cultured citrus trees and available soil P under the different P-fertilization.

Cultivar and soil	P-application rate (kgP ₂ O ₅ /10a) [A]	P-uptake (pg P mg root ⁻¹) [B]	P content of leaves (%) [C]	Branch length (cm) [D]	Available soil P (mg/kg) [E]
Miyagawa, Black	0	359	0.17	7.92	20.2
	8	310	0.17	8.97	21.4
	16	297	0.18	8.92	21.4
	32	293	0.18	10.3	21.6
	65	286	0.13	11.7	24.2
	130	275	0.19	8.91	27.8
	200	251	0.20	10.5	31.8
Okitsu, Brown	0	388	0.20	12.3	25.2
	4	369	0.23	13.7	24.3
	8	304	0.17	11.5	26.7
	16	296	0.23	12.9	30.1
	32	287	0.21	11.5	35.2
	65	284	0.23	10.3	38.2
	130	257	0.19	11.5	50.2

* Correlation

Miyagawa: A vs B = -0.90**, A vs E = 0.99**, B vs E = -0.82*

Okitsu : A vs B = -0.82* · A vs E = 0.98**, B vs E = -0.81*

시험 3. 포장 실험

³²P bioassay법을 감귤나무의 인산 영양 진단에 활용하기 위해 유효인산이 상이한 실험포장별로 인산 시비 수준을 달리했을 때, 인산흡수능, 토양의 화학적

성질, 엽중 영양 상태, 신초의 길이, 과일의 생산량과 품질에 미치는 영향 그리고 토양 유효인산과 인산흡수능과의 관계를 조사한 결과는 다음과 같다.

가. 인산흡수능(P-uptake)과의 관계

인산수준을 달리하여 시비한 포장의 조생은주 감귤나무에 대하여 ^{32}P bioassay 한 실험 결과는 table 10과 같다.

실험 1 차년도(1989년)의 5 월에 조사된 포장별 인산흡수능은 토양 유효인산 함량이 제일 낮았던 A 포장(1202 pg P/mg root) 에서 유효인산 함량이 가장 높았던 G 포장(538 pg P/mg root) 으로 갈수록 인산흡수능은 점차 낮아지는 경향을 보였고, 유효인산 함량이 80 mg/kg 이상인 D, E, F, G 포장간에는 그 차이를 나타내지 않았다. 또한 각 실험 포장에 있어서 시비 수준과 인산흡수능과의 상관도 보이지 않았다. 그러나 7월에 조사된 인산흡수능은 유효인산 함량이 가장 낮았던 실험포장 A (5.5 mg/kg)에서 시비 수준간에 차이를 보였고, 유효인산 함량이 30 mg/kg 정도인 B 와 C 실험포장에서는 인산질 비료를 시비하지 않았던 구(무비구)와 인산 시비구에서만 차이를 보였다. 또한, 유효인산 함량이 80-294 mg/kg 이었던 D, E, F, G 실험포장의 인산흡수능은 시비 수준간에 차이를 나타내지 않았다.

실험 2 차년도(1990년)의 인산흡수능도 1차년도의 경우와 마찬가지로 유효인산 함량이 낮았던 A 포장(1126 pg P/mg root)으로부터 G 포장(331 pg P/mg root)에 이르기 까지 점차 낮아지는 경향을 보였다. 5월의 인산흡수능은 인산 시비 수준이 증가함에 따라 모든 포장에서 차이를 보이지 않았으나, 7월의 인산흡수능은 유효인산 함량이 낮았던 실험포장(A, B, C) 에서 시비 수준이 증가함에 따라 A 포장은 1078 pg P/mg root 에서 776 pg P/mg root로, B 포장은 688 pg P/mg root 에서 458 pg P/mg root로, C 포장은 528 pg P/mg root 에서 319 pg P/mg root 로 점차 낮아지는 경향을 보였다.

한편, 실험 3 차년도(1991년)에 조사한 포장별 인산흡수능은 1차, 2차년도의 인산흡수능 실험 결과에서와 같이 유효인산 함량이 낮았던 A 포장으로 부터 높은 G포장에 이르기 까지 점차 낮아지는 경향이었고, 유효인산 함량이 80 mg/kg 이상

Table 10. P-uptake by the excised root of citrus trees treated with the different application rates of P-fertilizer.

Field	P-applicat- ion rate (kg P ₂ O ₅ /10a)	P-uptake(pg P / mg root)					
		1989		1990		1991	
		May	July	May	July	May	July
A	0	1274 ^{a*}	1326 ^a	1009 ^{bc}	1078 ^a	1025 ^a	1177 ^a
	14	1201 ^{ab}	1054 ^{ab}	1114 ^{ab}	1046 ^a	933 ^{ab}	954 ^b
	28	1075 ^{ab}	1178 ^{ab}	1150 ^a	966 ^a	921 ^{ab}	930 ^b
	42	1260 ^a	1042 ^{ab}	1027 ^{bc}	809 ^b	863 ^{ab}	755 ^c
	70	1219 ^{ab}	1180 ^{ab}	926 ^c	789 ^b	774 ^b	743 ^c
	140	1180 ^{ab}	973 ^b	1033 ^{bc}	776 ^b	786 ^b	628 ^c
B	0	666 ^a	719 ^a	617 ^a	688 ^a	881 ^a	636 ^a
	7	610 ^a	573 ^b	634 ^a	646 ^{ab}	833 ^{ab}	547 ^{ab}
	14	617 ^a	621 ^{ab}	587 ^a	613 ^{ab}	713 ^{abc}	461 ^{bc}
	21	630 ^a	667 ^{ab}	613 ^a	573 ^{abc}	635 ^{abc}	491 ^{bc}
	35	740 ^a	596 ^{ab}	642 ^a	516 ^{bc}	598 ^{bc}	395 ^{bc}
	70	691 ^a	603 ^{ab}	499 ^a	458 ^c	562 ^c	383 ^c
C	0	679 ^a	655 ^a	776 ^a	528 ^a	686 ^a	756 ^a
	20	583 ^a	419 ^b	644 ^{ab}	496 ^a	721 ^a	607 ^{ab}
	40	663 ^a	449 ^{ab}	698 ^a	472 ^{ab}	631 ^a	609 ^{ab}
	60	658 ^a	527 ^{ab}	769 ^a	408 ^{ab}	667 ^a	530 ^{bc}
	100	846 ^a	476 ^{ab}	682 ^{ab}	392 ^{ab}	678 ^a	467 ^{bc}
	200	616 ^a	417 ^b	560 ^b	319 ^b	599 ^a	374 ^c
D	0	629 ^a	480 ^a	366 ^a	339 ^{ab}	508 ^a	489 ^a
	14	537 ^a	481 ^a	409 ^a	298 ^{ab}	441 ^a	423 ^a
	28	503 ^a	487 ^a	406 ^a	296 ^{ab}	423 ^a	416 ^a
	42	557 ^a	520 ^a	321 ^a	257 ^b	483 ^a	517 ^a
	70	497 ^a	458 ^a	503 ^a	414 ^a	419 ^a	474 ^a
	140	627 ^a	479 ^a	464 ^a	310 ^{ab}	433 ^a	523 ^a
E	0	589 ^a	516 ^a	387 ^a	378 ^a	480 ^a	491 ^a
	20	622 ^a	443 ^a	469 ^a	412 ^a	439 ^a	402 ^a
	40	680 ^a	420 ^a	464 ^a	368 ^a	466 ^a	381 ^a
	60	516 ^a	454 ^a	526 ^a	382 ^a	443 ^a	514 ^a
	100	567 ^a	468 ^a	370 ^a	324 ^a	343 ^a	325 ^a
	200	568 ^a	444 ^a	359 ^a	340 ^a	312 ^a	394 ^a
F	0	499 ^a	426 ^a	371 ^a	333 ^a	419 ^a	489 ^a
	14	534 ^a	418 ^a	416 ^a	273 ^a	352 ^a	284 ^b
	28	666 ^a	457 ^a	437 ^a	318 ^a	462 ^a	398 ^{ab}
	42	618 ^a	392 ^a	432 ^a	295 ^a	490 ^a	463 ^{ab}
	70	538 ^a	428 ^a	343 ^a	247 ^a	413 ^a	374 ^{ab}
	140	660 ^a	453 ^a	352 ^a	309 ^a	437 ^a	378 ^{ab}
G	0	525 ^a	314 ^a	324 ^a	303 ^a	272 ^a	225 ^a
	7	584 ^a	337 ^a	364 ^a	280 ^a	246 ^a	257 ^a
	14	546 ^a	285 ^a	328 ^a	224 ^a	224 ^a	209 ^a
	21	491 ^a	297 ^a	268 ^a	251 ^a	232 ^a	215 ^a
	35	597 ^a	349 ^a	268 ^a	231 ^a	223 ^a	207 ^a
	70	484 ^a	404 ^a	343 ^a	280 ^a	224 ^a	289 ^a

#: Duncan's multiple range test; significant at 5 % level.

이었던 D, E, F 실험 포장의 인산흡수능은 실험 수행년도와 계절별로 약간 상이하나 포장간에 차이가 없는 것으로 나타났다. 또한, 실험 포장의 인산 시비 수준별 인산흡수능 결과를 살펴볼 때, 유효인산 함량이 낮았던 A, B, C 포장의 인산흡수능은 2 차년도와 마찬가지로 시비 수준간에 차이를 보였으며, 시비효과는 더 뚜렷한 경향을 나타냈다. 그러나, 유효인산 함량이 80-150 mg/kg 인 D, E, F 실험 포장의 인산흡수능은 시비 수준간에 차이를 나타내지 않았다.

감귤과 같은 다년생 과수는 수체의 생육(Embleton 등, 1967)과 영양생리(井上, 1971; Embleton 등, 1967) 특성이 일년생 작물과 크게 다르기 때문에 단기간내에 시비 효과를 관찰하기가 힘들다는 보고(Reuther 등, 1958; 坂本 등, 1964; 安達 등, 1966; 金과吳, 1971; 洪과 鄭, 1979) 를 참고로 할 때, 포장 실험에서 ^{32}P bioassay 법으로 감귤나무의 시비 반응을 관찰할 수 있었던 것은 ^{32}P bioassay 법이 감귤나무의 인산 영양 진단에 적절하고 예민한 방법임을 시사하는 것이다.

특히, 토양 유효인산 함량이 30 mg/kg 보다 적은 포장(A, B, C) 에서 인산 시비 반응이 나타난 것은 토양 유효인산 함량이 30 mg/kg 범위 이하일 때에는 감귤나무의 생육을 위해 인산 공급이 필요하다는 것을 의미하는 것이고, 토양 유효인산 함량이 80 mg/kg 보다 높았던 실험 포장에서는 시비효과가 나타나지 않았고 포장간에 차이가 없었던 것은 유효인산 함량이 80 mg/kg 보다 높은 포장에서는 인산질 비료의 시비 효과가 없다는 것을 뜻하는 것이기 때문에 ^{32}P bioassay에 의한 인산흡수능을 조사하게 되면 인산질 비료의 공급여부를 결정할 수 있다고 사료된다.

나. 토양 화학적 성질과의 관계

유효인산 함량이 상이한 실험포장별 또는 각 실험포장의 인산시비수준과 토양 중 유효인산 함량과의 관계는 table 11과 같다.

포장별 유효인산 함량을 비교하면 포장 선정 당시에 토양 유효인산 함량이 낮았던 실험 포장 A 에서 가장 높았던 G 포장으로 갈수록 점차 증가되는 경향이었고 실험 수행 1 차년도 보다 2, 3 차년도로 갈수록 점차 증가되는 경향을 보였다. 한편, 1 차년도(1989년)에는 토양 유효인산 함량이 150 mg/kg 보다 낮았던 A,

B, C, D, E 실험 포장의 경우에 인산 시비 수준이 증가함에 따라 토양 유효인산 함량이 높아지는 경향을 보였으나 유효인산 함량이 높았던 F, G 실험 포장은 시비 수준간에 일정한 경향을 나타내지 않았다. 그러나, 2, 3차년도(1990, 1991년)의 각 포장의 유효인산 함량은 시비 수준이 증가함에 따라 높아지는 경향을 보였다.

제주도 화산회토는 인산을 흡착, 고정하는 능력이 매우 크므로 인산 시비에 의한 토양유효인산 함량 변화가 크지 않는것으로 보고되고 있는데(柳 등, 1975) 토양 유효인산 함량이 가장 낮았던 A 포장(5.5 mg/kg)에서는 권장 시비량 또는 그 이하의 시비량으로는 토양 유효인산 함량을 증가시키지 못했고, 2 - 5배를 시비했을 경우만 유효인산 함량이 증가되었다. 그러나, 토양중 유효인산 함량이 30 mg/kg 보다 높았던 포장(D, E, F, G)에서는 권장 시비량의 약 반량을 시비하더라도 유효인산 함량은 증가되었다. 따라서, 제주도의 성목 감귤원 토양중의 유효인산 함량이 대부분 100 mg/kg 이상(宋과 柳, 미발표 자료, 1991)인 점과 table 10의 인산흡수능 결과에서 토양 유효인산 함량이 80 mg/kg 이상일 때 시비 효과가 나타나지 않은 점을 감안하면, 농민들이 현재와 같이 권장 시비량보다 2 - 5배 높게 주는 관행은 시정되어야 할 것으로 지적된다.

실험 포장별 총인산 함량(table 11)은 일반적으로 유효인산 함량이 높았던 포장에서 높은 경향이었으나 유효인산 함량이 가장 높았던 갈색 토양인 G 포장(294 mg/kg)의 총 인산 함량이 유효인산 함량이 162 mg/kg 인 흑색 토양의 F 포장보다 낮은 것은 갈색 토양과 흑색 토양간의 유기물 함량과 인산 흡수 계수의 차이에(朴 등, 1975) 기인된 것이라고 사료된다. 또한, 각 실험포장의 총 인산 함량은 시비수준이 증가함에 따라 높아지는 경향을 보였다.

table 12에서 보는 바와 같이 실험 포장 토양중의 pH 와 치환성 Ca, Mg 함량 그리고 CEC 는 3 년간의 용성인비 시용에 의해서 증가되었는데, 이는 용성인비중에 포함된 높은 Ca 과 Mg 함량 때문에(柳와 宋, 1984; 趙 등, 1972) 증가된 것으로 해석된다.

다. 엽중 영양 상태와의 관계

Table 11. Total and available P content of soils after the experiment.

Field	P-application rate (kg P ₂ O ₅ /10a)	Available P (mg/kg)						Total P(g/kg)	
		1989		1990		1991		1991	
		May	July	May	July	May	July	May	July
A	0	6.95c*	5.00c	4.09c	4.20c	4.96b	3.80b	1.80c	1.80c
	14	8.95bc	6.93bc	5.70c	4.81c	14.6b	6.74b	3.00ab	2.20bc
	28	9.52bc	5.45bc	6.62c	5.60c	10.5b	6.33b	2.40bc	2.10bc
	42	9.52bc	11.2ab	7.66bc	9.8bc	10.2b	13.6b	2.50ab	2.50b
	70	13.4ab	7.73bc	11.3b	14.0b	15.9b	21.4a	2.90a	2.50b
	140	16.0a	13.9a	19.1a	21.4a	37.3a	41.4a	2.70b	3.70a
B	0	35.3b	30.6b	25.4b	26.8c	21.7c	20.8c	2.20b	2.00d
	7	37.0ab	30.1b	37.2b	31.5c	38.7c	37.8c	2.60b	2.30cd
	14	43.0ab	31.6b	39.4b	55.9c	51.9bc	68.4bc	2.60b	2.40bcd
	21	40.3ab	40.3ab	61.4ab	75.3b	45.6bc	80.7bc	2.70b	2.80bc
	35	41.0ab	43.0ab	59.4ab	88.4b	67.0bc	113ab	3.10ab	3.20ab
	70	45.5a	54.7a	84.8a	132a	141a	156a	4.00a	3.70a
C	0	28.2ab	29.7b	27.4c	20.2b	21.9d	33.7c	3.50c	3.90c
	20	22.7b	38.3ab	35.0c	29.7b	46.4c	44.4c	4.50bc	4.00c
	40	28.2ab	39.3ab	39.4bc	56.8a	67.0bc	62.8bc	5.00ab	4.30bc
	60	29.3ab	34.8ab	53.7abc	59.5a	64.3bc	75.7b	4.60abc	4.40bc
	100	24.1b	43.5a	65.5ab	74.9a	87.8ab	89.7b	5.30ab	5.10b
	200	38.8a	41.8a	77.0a	76.9a	108a	154a	6.00a	6.10a
D	0	95.8b	94.5b	113b	112c	110b	95.5c	6.70b	5.90b
	14	83.8b	98.0b	121b	125b	130b	125b	6.40b	5.20b
	28	103b	116b	126b	130bc	143b	140bc	5.70b	5.50b
	42	102b	120ab	140ab	129bc	180ab	209bc	6.30b	6.80b
	70	118ab	125a	161a	156ab	221a	256ab	7.40ab	6.00b
	140	130a	130a	164a	171a	243a	336a	9.70a	9.30a
E	0	153b	160b	164b	152b	167c	160c	6.40a	7.30ab
	20	161b	162b	170ab	169b	200b	195bc	6.50a	6.60ab
	40	174b	154b	185ab	180b	230b	248ab	6.70a	5.90b
	60	182ab	160b	222ab	234a	279b	289ab	7.00a	6.80ab
	100	178ab	203a	240ab	239a	320a	330a	8.30a	8.70a
	200	216a	209a	270a	269a	350a	374a	9.10a	7.70ab
F	0	169a	150a	156b	157b	150d	146c	6.70b	5.80a
	14	160a	157a	163b	168b	170d	165c	6.60b	6.30a
	28	176a	167a	185ab	183ab	199c	202b	6.80b	6.50a
	42	180a	170a	200ab	205ab	215bc	230ab	6.50b	6.00a
	70	185a	181a	234a	251a	252b	240ab	7.00b	5.70a
	140	186a	196a	260a	285a	383a	340a	8.20a	6.40a
G	0	279a	253a	275b	280b	265c	271c	3.30b	3.80a
	7	276a	271a	280b	290b	320bc	315bc	4.40ab	3.90a
	14	285a	276a	289b	305ab	340b	355bc	4.10ab	4.00a
	21	295a	297a	310a	320ab	378ab	360b	4.10ab	4.50a
	35	307a	310a	332a	350a	409a	460ab	5.10a	5.00a
	70	313a	314a	383a	404a	453a	546a	4.60a	4.44a

#: Duncan's multiple range test: significant at 5 % level.

Table 12. Changes in chemical properties of soils after fused phosphate application for three years.

Field	P-appli- cation rate (kg P ₂ O ₅ /10a)	May, 1991					July, 1991				
		pH	Exchangeable bases (me/100g)			CEC (me/100g)	pH	Exchangeable bases (me/100g)			CEC (me/100g)
			K	Ca	Mg			K	Ca	Mg	
A	0	4.67 ^{d*}	1.26 ^b	2.06 ^d	1.00 ^d	18.2 ^a	4.73 ^c	0.65 ^a	2.07 ^c	0.68 ^c	17.4 ^d
	14	4.79 ^{cd}	1.08 ^b	3.36 ^{cd}	2.30 ^{cd}	21.8 ^d	5.00 ^{bc}	0.58 ^a	3.20 ^{bc}	2.13 ^{bc}	20.4 ^c
	28	4.89 ^{cd}	2.30 ^a	4.31 ^{bc}	2.71 ^c	24.7 ^c	5.07 ^{bc}	0.78 ^a	3.68 ^{bc}	1.86 ^{bc}	21.4 ^{bc}
	42	5.23 ^{bc}	2.54 ^a	4.32 ^{bc}	2.63 ^c	26.0 ^{bc}	5.08 ^{bc}	0.75 ^a	4.14 ^b	2.29 ^{bc}	22.7 ^{bc}
	70	5.48 ^{ab}	1.81 ^{ab}	5.57 ^b	4.19 ^b	27.5 ^{ab}	5.28 ^{ab}	0.77 ^a	5.11 ^b	3.01 ^b	24.4 ^b
140	5.84 ^a	1.38 ^b	7.16 ^a	6.00 ^a	29.6 ^a	5.49 ^a	0.84 ^a	7.71 ^a	6.02 ^a	29.8 ^a	
B	0	4.78 ^d	0.43 ^a	1.33 ^c	0.62 ^d	15.9 ^d	4.68 ^c	0.41 ^a	0.90 ^c	0.76 ^c	16.4 ^c
	7	4.94 ^{cd}	0.52 ^a	2.97 ^{bc}	1.44 ^{cd}	18.7 ^{cd}	4.79 ^c	0.30 ^a	1.78 ^c	1.52 ^c	18.4 ^c
	14	5.22 ^{bc}	0.51 ^a	3.59 ^{bc}	2.43 ^{bcd}	20.5 ^{bc}	5.08 ^{bc}	0.36 ^a	2.07 ^c	0.80 ^c	18.9 ^c
	21	5.32 ^{abc}	0.45 ^a	4.04 ^b	2.81 ^{bc}	21.5 ^{bc}	5.31 ^{bc}	0.28 ^{ab}	3.40 ^{bc}	1.90 ^{bc}	20.6 ^{bc}
	35	5.46 ^{ab}	0.67 ^a	4.79 ^b	3.85 ^b	23.5 ^b	5.63 ^{ab}	0.39 ^a	5.46 ^{ab}	3.47 ^b	24.6 ^{ab}
70	5.73 ^a	0.61 ^a	7.39 ^a	6.19 ^a	27.5 ^a	5.89 ^a	0.30 ^a	7.44 ^a	5.89 ^a	26.0 ^a	
C	0	5.67 ^{ab}	1.91 ^a	5.32 ^b	1.74 ^c	23.6 ^c	4.54 ^d	0.91 ^{ab}	5.28 ^d	1.77 ^d	20.7 ^a
	20	5.46 ^b	1.77 ^a	5.33 ^b	3.67 ^c	25.7 ^{bc}	4.94 ^c	1.04 ^{ab}	6.45 ^{cd}	2.72 ^{cd}	22.8 ^{de}
	40	5.70 ^{ab}	1.27 ^b	8.18 ^{ab}	3.69 ^c	28.7 ^{abc}	5.22 ^{bc}	0.75 ^b	6.65 ^{cd}	3.29 ^{cd}	24.1 ^{cd}
	60	5.66 ^{ab}	1.13 ^b	7.96 ^{ab}	4.08 ^{bc}	29.0 ^{abc}	5.29 ^b	0.99 ^{ab}	8.03 ^{bc}	4.21 ^c	26.2 ^c
	100	5.92 ^a	1.13 ^b	10.0 ^{ab}	6.23 ^{ab}	32.0 ^{ab}	5.52 ^{ab}	1.18 ^{ab}	9.87 ^b	6.26 ^b	30.1 ^b
200	5.95 ^a	1.03 ^b	10.8 ^a	7.63 ^a	34.3 ^a	5.70 ^a	1.28 ^a	12.9 ^a	9.42 ^a	35.2 ^a	
D	0	4.98 ^c	1.53 ^a	4.90 ^c	0.99 ^d	18.5 ^c	4.33 ^c	0.72 ^a	4.99 ^b	0.98 ^b	20.9 ^c
	14	5.31 ^{bc}	1.53 ^a	6.43 ^{bc}	2.32 ^{cd}	22.1 ^c	4.67 ^{bc}	0.66 ^a	5.71 ^b	1.67 ^b	22.7 ^c
	28	5.97 ^{ab}	1.49 ^a	9.60 ^{abc}	3.88 ^{bcd}	27.1 ^b	5.14 ^{ab}	1.12 ^a	8.12 ^b	3.46 ^b	27.9 ^b
	42	5.68 ^{ab}	1.53 ^a	7.33 ^{bc}	4.35 ^{bc}	26.1 ^{bc}	4.96 ^{abc}	0.97 ^a	8.55 ^b	4.63 ^{ab}	28.9 ^b
	70	6.04 ^{ab}	1.91 ^a	10.1 ^{ab}	5.73 ^{ab}	29.6 ^{ab}	5.31 ^{ab}	1.06 ^a	8.84 ^b	4.40 ^{ab}	28.3 ^{bc}
140	6.37 ^a	1.89 ^a	12.8 ^a	8.07 ^a	36.4 ^a	5.52 ^a	1.31 ^a	12.6 ^a	7.67 ^a	34.9 ^a	
E	0	5.00 ^{bc}	2.32 ^a	5.89 ^b	1.31 ^b	23.1 ^b	4.43 ^c	1.81 ^{ab}	5.14 ^b	0.68 ^c	21.6 ^b
	20	5.10 ^{ab}	2.97 ^a	6.96 ^b	1.76 ^b	24.4 ^b	4.47 ^{bc}	1.43 ^b	5.55 ^b	1.18 ^{bc}	22.8 ^b
	40	5.09 ^{ab}	2.15 ^a	6.83 ^b	2.35 ^b	25.0 ^b	4.51 ^{bc}	1.25 ^b	4.68 ^b	1.28 ^{bc}	22.1 ^b
	60	4.81 ^c	2.55 ^a	6.46 ^b	2.77 ^b	28.4 ^{ab}	4.44 ^b	1.43 ^b	4.70 ^b	1.43 ^b	23.6 ^b
	100	5.16 ^{ab}	2.44 ^a	9.68 ^a	6.23 ^a	34.0 ^a	4.91 ^a	2.22 ^a	9.14 ^a	4.53 ^a	31.0 ^a
200	5.32 ^a	3.22 ^a	10.5 ^a	7.28 ^a	36.2 ^a	4.78 ^{ab}	1.67 ^{ab}	7.59 ^{ab}	4.66 ^a	34.6 ^a	
F	0	4.56 ^c	2.76 ^a	8.29 ^b	3.60 ^b	23.0 ^b	4.54 ^b	2.19 ^a	8.43 ^b	2.00 ^b	25.0 ^c
	14	4.70 ^c	2.67 ^a	9.26 ^b	3.30 ^b	24.9 ^b	4.46 ^b	1.62 ^a	8.48 ^b	2.46 ^b	27.1 ^{bc}
	28	5.04 ^{bc}	2.78 ^a	13.2 ^a	2.76 ^b	29.7 ^b	4.84 ^{ab}	1.55 ^a	9.51 ^{ab}	3.85 ^b	29.2 ^b
	42	5.47 ^{ab}	3.36 ^a	14.2 ^a	3.20 ^b	32.5 ^a	4.68 ^{ab}	1.58 ^a	9.71 ^{ab}	3.57 ^b	30.3 ^b
	70	5.58 ^{ab}	3.11 ^a	12.0 ^a	5.42 ^{ab}	36.0 ^a	5.02 ^{ab}	1.58 ^a	10.0 ^{ab}	3.86 ^b	29.1 ^b
140	5.84 ^a	2.76 ^a	13.2 ^a	7.19 ^a	37.4 ^a	5.37 ^a	1.55 ^a	14.2 ^a	9.87 ^a	39.5 ^a	
G	0	4.29 ^c	1.46 ^b	1.72 ^b	1.01 ^b	18.9 ^b	4.09 ^c	1.98 ^a	2.90 ^c	2.12 ^d	17.1 ^d
	7	4.59 ^{bc}	2.04 ^{ab}	5.07 ^{ab}	3.07 ^{ab}	20.9 ^b	4.41 ^{bc}	1.74 ^a	3.64 ^{bc}	2.65 ^{cd}	18.0 ^{dc}
	14	4.68 ^{abc}	2.27 ^{ab}	5.28 ^{ab}	2.52 ^{ab}	22.6 ^{ab}	4.47 ^b	1.73 ^a	4.19 ^{abc}	2.53 ^d	19.5 ^c
	21	4.58 ^{bc}	2.15 ^{ab}	3.49 ^{ab}	1.91 ^{ab}	23.9 ^{ab}	4.69 ^b	2.04 ^a	4.90 ^{ab}	3.48 ^{bc}	20.5 ^b
	35	5.02 ^{ab}	2.43 ^a	6.54 ^a	3.24 ^a	27.3 ^a	4.70 ^b	1.95 ^a	4.75 ^{ab}	3.63 ^b	25.0 ^a
70	5.11 ^a	2.29 ^a	5.40 ^{ab}	4.02 ^a	27.0 ^a	5.06 ^a	2.19 ^a	5.57 ^a	5.85 ^a	27.7 ^a	

#: Duncan's multiple range test; significant at 5% level.

유효인산 함량이 상이한 실험 포장별 그리고 인산 시비수준별 엽중 영양상태는 table 13과 같다.

엽중 인산함량은 토양 유효인산 함량이 상이한 포장간 그리고 인산 시비 수준간에 일정한 경향을 나타내지 않았는데 이는 엽분석 결과에 의해서 감귤나무의 인산 영양 상태를 파악하기 어렵다는 보고와 일치된다(坂本, 1964).

또한, P 와 길항작용이 있는 N(Chapman, 1951), K(Embleton 등, 1952), Zn(Reuther와 Neller, 1944; West, 1938)의 엽중 함량이 각 실험 포장의 인산 시비 수준과 토양유효인산 함량에 의해서 영향을 받지 않은 것으로 보아, 감귤원의 토양 중 유효인산 함량이 200-500 mg/kg 범위인 경우에는 P와 길항관계에 있는 N, K, Zn등의 흡수가 영향을 받지 않음을 알 수 있다. 이 사실은 제주도 감귤원에 많은 양의 인산이 토양중에 축적되어 있음에도 불구하고 P 와 길항작용이 있는 원소 특히 Zn과 같은 미량원소의 결핍이 보고되고 있지 않은 이유를 설명할 수 있게 한다. 또한, 엽중 Mg 함량은 인산 시비 수준이 증가함에 따라 포장별로 차이는 있으나 높아지는 경향을 보였는데, 이는 용성인비를 3년간 시비했기 때문에 토양중의 치환성 Mg 함량이 높아져 엽중 Mg 함량이 증가된 결과인 것으로 해석된다(Wear와 Cope, 1977).

한편, 시기별 감귤나무의 엽중 무기양분 함량을 비교할 때, 모든 실험 포장의 N, P, K, Mg 함량은 5 월에서 7 월에 이르러 낮아졌으나 Ca 함량은 오히려 7 월에 높아지는 경향을 보였다. 이는 엽령이 증가함에 따라 엽중 N, P, K, Mg 함량은 낮아지고 Ca 함량은 높아진다는 보고(Embleton 등, 1963; 廣部와 大垣, 1968)와 일치하였다.

라. 신초 길이와의 관계

유효인산 함량이 상이한 실험 포장별 또는 각 실험포장의 인산 시비 수준별로 조사된 신초 길이는 table 14와 같다.

포장별 신초의 길이는 토양 유효인산 함량이 30 mg/kg 이하인 A, B, C 실험 포장에서 자란것이 유효인산함량이 높은 포장에 비하여 생장이 불량하였으며, A 와 C 포장의 Miyagawa가 B포장의 Okitsu보다 적게 성장하였는데 이는 두 품종간

Table 13. Analysis of citrus tree leaves after fused phosphate application for three years.

Field	Sampling month, year	Leaf age	Fertilizer added (kg P ₂ O ₅ /10a)	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Mn
				%	%	%	%	%	ppm	ppm
A	May, 1991	2 months old	0	2.52 ^{ab} #	0.20 ^{ab}	1.74 ^a	1.00 ^a	0.28 ^d	28.6 ^{bc}	16.1 ^a
			14	2.77 ^a	0.22 ^a	1.65 ^a	0.93 ^a	0.28 ^{cd}	29.4 ^{bc}	18.0 ^a
			28	2.33 ^b	0.18 ^b	1.69 ^a	0.99 ^a	0.33 ^{bcd}	24.2 ^c	14.1 ^a
			42	2.49 ^{ab}	0.22 ^{ab}	1.74 ^a	1.05 ^a	0.34 ^{abc}	29.5 ^{bc}	15.1 ^a
			70	2.50 ^{ab}	0.24 ^a	1.77 ^a	0.98 ^a	0.37 ^{ab}	33.7 ^{ab}	14.5 ^a
		140	2.58 ^{ab}	0.22 ^{ab}	1.77 ^a	0.92 ^a	0.40 ^a	38.1 ^a	13.2 ^a	
		13 months old	0	2.30 ^a	0.12 ^a	0.90 ^a	2.42 ^a	0.30 ^c	32.4 ^a	29.2 ^{ab}
			14	2.35 ^a	0.13 ^a	0.85 ^a	2.41 ^a	0.34 ^{bc}	28.8 ^a	28.3 ^{ab}
			28	2.50 ^a	0.15 ^a	0.81 ^{ab}	2.47 ^a	0.41 ^{ab}	32.7 ^a	28.7 ^{ab}
			42	2.13 ^a	0.14 ^a	0.87 ^{ab}	2.35 ^{ab}	0.39 ^{bc}	29.5 ^a	24.6 ^b
	70		2.40 ^a	0.14 ^a	0.79 ^{ab}	2.21 ^{ab}	0.41 ^{ab}	29.8 ^a	28.2 ^{ab}	
	140	2.41 ^a	0.15 ^a	0.70 ^b	2.11 ^b	0.49 ^a	29.3 ^{ab}	32.1 ^a		
	July, 1991	4 months old	0	1.61 ^a	0.14 ^{ab}	2.91 ^a	1.90 ^a	0.40 ^d	36.8 ^{ab}	26.8 ^a
			14	1.94 ^a	0.18 ^a	3.36 ^a	2.38 ^a	0.62 ^{abc}	41.1 ^a	33.1 ^a
			28	1.82 ^a	0.12 ^b	2.19 ^a	1.59 ^a	0.45 ^{cd}	32.7 ^b	19.6 ^a
			42	2.04 ^a	0.16 ^{ab}	2.93 ^a	1.89 ^a	0.56 ^{bcd}	35.0 ^{ab}	24.5 ^a
			70	1.83 ^a	0.15 ^{ab}	2.89 ^a	1.90 ^a	0.68 ^{ab}	35.1 ^{ab}	28.4 ^a
		140	1.88 ^a	0.16 ^{ab}	2.97 ^a	2.10 ^a	0.78 ^a	37.7 ^{ab}	29.2 ^a	
		17 months old	0	1.79 ^a	0.06 ^c	1.25 ^a	2.97 ^a	0.40 ^b	32.6 ^a	39.3 ^a
			14	1.91 ^a	0.08 ^{bc}	1.21 ^a	2.78 ^a	0.44 ^{ab}	32.6 ^a	42.3 ^a
			28	1.92 ^a	0.09 ^{ab}	1.29 ^a	2.96 ^a	0.46 ^{ab}	31.6 ^a	40.2 ^a
			42	1.55 ^a	0.09 ^{ab}	1.15 ^a	3.12 ^a	0.44 ^{ab}	31.9 ^a	43.4 ^a
	70		1.78 ^a	0.10 ^a	1.05 ^a	2.41 ^a	0.50 ^{ab}	30.7 ^a	43.2 ^a	
	140	1.88 ^a	0.10 ^a	1.08 ^a	2.73 ^a	0.65 ^a	33.4 ^a	46.9 ^a		
B	May, 1991	2 months old	0	1.45 ^{ab}	0.18 ^a	1.76 ^b	0.81 ^a	0.29 ^b	34.8 ^a	18.7 ^a
			7	1.59 ^a	0.20 ^a	2.48 ^a	0.96 ^a	0.33 ^{ab}	35.3 ^a	17.8 ^a
			14	1.23 ^b	0.22 ^a	1.94 ^{ab}	0.86 ^a	0.35 ^a	30.8 ^a	17.5 ^a
			21	1.42 ^{ab}	0.18 ^a	1.66 ^b	0.87 ^a	0.35 ^a	33.5 ^a	16.7 ^a
			35	1.38 ^{ab}	0.18 ^a	1.79 ^b	0.96 ^a	0.39 ^a	36.7 ^a	18.1 ^a
		70	1.40 ^{ab}	0.18 ^a	1.67 ^b	1.11 ^a	0.39 ^a	33.6 ^a	16.3 ^a	
		13 months old	0	1.69 ^b	0.14 ^{ab}	0.87 ^a	1.41 ^a	0.33 ^b	32.2 ^a	26.8 ^a
			7	1.77 ^b	0.12 ^b	0.83 ^a	1.69 ^a	0.35 ^{ab}	30.9 ^a	29.0 ^a
			14	1.66 ^b	0.14 ^{ab}	0.67 ^a	1.53 ^a	0.40 ^{ab}	30.3 ^a	28.3 ^a
			21	2.00 ^a	0.15 ^{ab}	0.65 ^a	1.53 ^a	0.45 ^{ab}	29.2 ^a	31.2 ^a
	35		1.73 ^b	0.14 ^{ab}	0.74 ^a	1.55 ^a	0.46 ^{ab}	33.6 ^a	31.3 ^a	
	70	1.69 ^b	0.16 ^a	0.66 ^a	1.50 ^a	0.48 ^a	30.2 ^a	29.5 ^a		
	July, 1991	4 months old	0	1.70 ^a	0.14 ^a	2.42 ^a	1.56 ^a	0.45 ^a	36.8 ^a	25.1 ^a
			7	1.83 ^a	0.15 ^a	2.43 ^a	2.16 ^a	0.56 ^a	36.9 ^a	20.2 ^a
			14	1.82 ^a	0.14 ^a	2.24 ^a	2.30 ^a	0.55 ^a	36.0 ^a	25.7 ^a
			21	1.81 ^a	0.13 ^a	2.21 ^a	1.49 ^a	0.55 ^a	34.3 ^a	18.2 ^a
			35	1.66 ^a	0.14 ^a	2.35 ^a	1.75 ^a	0.59 ^a	35.6 ^a	20.1 ^a
		70	1.68 ^a	0.15 ^a	2.31 ^a	1.39 ^a	0.65 ^a	35.7 ^a	17.7 ^a	
		17 months old	0	1.57 ^a	0.09 ^a	0.81 ^a	2.96 ^a	0.36 ^d	37.1 ^a	53.5 ^a
			7	1.38 ^a	0.08 ^a	0.69 ^a	2.91 ^a	0.40 ^{cd}	31.9 ^a	31.5 ^b
			14	1.34 ^a	0.08 ^a	0.43 ^a	2.95 ^a	0.55 ^{bcd}	33.9 ^a	37.8 ^a
			21	1.60 ^a	0.08 ^a	0.53 ^a	3.16 ^a	0.72 ^{bc}	38.0 ^a	43.9 ^a
	35		1.40 ^a	0.10 ^a	0.59 ^a	2.83 ^a	0.62 ^{abc}	34.3 ^a	36.7 ^b	
	70	1.43 ^a	0.08 ^a	0.55 ^a	2.99 ^a	0.81 ^a	36.4 ^a	42.6 ^a		

#: Duncan's multiple range test: significant at 5 % level.

Table 13. (to be continued).

Field	Sampling month, year	Leaf age	Fertilizer added (kg P ₂ O ₅ /10a)	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	Zn ppm	Mn ppm
C	May, 1991	2 months old	0	2.08 ^a	0.25 ^a	1.97 ^a	0.99 ^a	0.29 ^c	27.3 ^b	20.8 ^a
			20	1.72 ^b	0.23 ^a	1.84 ^a	0.95 ^a	0.30 ^{bc}	38.4 ^a	20.3 ^a
			40	1.84 ^a	0.22 ^a	1.73 ^a	0.98 ^a	0.29 ^{bc}	31.2 ^{ab}	20.4 ^a
			60	1.88 ^a	0.22 ^a	1.86 ^a	0.91 ^a	0.31 ^{bc}	31.5 ^{ab}	19.7 ^a
			100	1.80 ^a	0.24 ^a	1.90 ^a	0.85 ^a	0.33 ^{ab}	26.5 ^b	19.7 ^a
			200	1.89 ^a	0.24 ^a	1.84 ^a	0.90 ^a	0.35 ^a	29.3 ^b	19.7 ^a
	13 months old	0	1.67 ^a	0.12 ^a	0.78 ^a	1.71 ^a	0.25 ^b	36.1 ^a	55.9 ^a	
		20	1.60 ^a	0.11 ^a	0.62 ^a	1.68 ^a	0.28 ^b	25.3 ^a	55.5 ^a	
		40	1.59 ^a	0.11 ^a	0.68 ^a	1.75 ^a	0.31 ^{ab}	32.3 ^a	49.1 ^a	
		60	1.32 ^a	0.10 ^a	0.65 ^a	1.44 ^a	0.31 ^{ab}	46.8 ^a	50.3 ^a	
		100	1.59 ^a	0.11 ^a	0.66 ^a	1.53 ^a	0.39 ^a	32.9 ^a	56.8 ^a	
		200	1.69 ^a	0.10 ^a	0.70 ^a	1.62 ^a	0.37 ^a	42.6 ^a	63.7 ^a	
	July, 1991	4 months old	0	1.36 ^b	0.20 ^a	2.24 ^a	2.05 ^a	0.44 ^a	44.9 ^a	46.4 ^a
			20	1.51 ^{ab}	0.20 ^a	2.77 ^a	1.98 ^a	0.56 ^a	38.4 ^a	35.8 ^b
			40	1.50 ^{ab}	0.18 ^a	2.24 ^a	2.11 ^a	0.48 ^a	36.0 ^a	34.5 ^b
			60	1.71 ^a	0.19 ^a	2.44 ^a	1.89 ^a	0.53 ^a	35.1 ^a	36.0 ^b
			100	1.51 ^{ab}	0.18 ^a	1.99 ^a	1.31 ^a	0.49 ^a	36.6 ^a	32.6 ^b
			200	1.22 ^b	0.17 ^a	1.63 ^a	1.30 ^a	0.47 ^a	31.8 ^a	32.6 ^b
17 months old	0	1.61 ^{ab}	0.11 ^a	0.15 ^{ab}	3.15 ^a	0.39 ^c	56.0 ^a	85.1 ^a		
	20	1.38 ^c	0.11 ^a	0.44 ^{ab}	2.88 ^a	0.42 ^c	54.5 ^a	81.6 ^a		
	40	1.64 ^a	0.10 ^a	0.45 ^{ab}	3.19 ^a	0.45 ^{bc}	53.4 ^a	79.6 ^a		
	60	1.47 ^c	0.09 ^a	0.57 ^a	3.10 ^a	0.48 ^{abc}	46.3 ^a	83.2 ^a		
	100	1.51 ^a	0.11 ^a	0.43 ^{ab}	3.61 ^a	0.62 ^a	47.8 ^a	96.3 ^a		
	200	1.43 ^a	0.10 ^a	0.37 ^b	2.99 ^a	0.58 ^{ab}	50.4 ^a	84.8 ^a		
D	May, 1991	2 months old	0	1.56 ^c	0.26 ^a	1.84 ^a	0.78 ^a	0.22 ^a	34.8 ^{ab}	28.4 ^a
			14	1.96 ^{bc}	0.24 ^b	1.77 ^a	0.93 ^a	0.24 ^a	31.4 ^b	29.5 ^a
			28	2.02 ^{ab}	0.25 ^a	1.83 ^a	0.83 ^a	0.25 ^a	33.6 ^{ab}	29.0 ^a
			42	2.21 ^{ab}	0.25 ^{ab}	1.86 ^a	0.68 ^a	0.23 ^a	34.3 ^{ab}	20.9 ^a
			70	2.16 ^{ab}	0.26 ^a	1.69 ^a	0.80 ^a	0.25 ^a	39.1 ^a	25.6 ^a
			140	2.42 ^a	0.28 ^a	1.89 ^a	0.81 ^a	0.25 ^a	34.0 ^{ab}	25.7 ^a
	13 months old	0	2.21 ^a	0.15 ^a	0.94 ^a	1.69 ^a	0.20 ^c	33.1 ^a	73.9 ^a	
		14	2.14 ^a	0.14 ^a	1.01 ^a	1.79 ^a	0.21 ^b	30.5 ^{ab}	74.9 ^a	
		28	2.38 ^a	0.15 ^a	0.90 ^{ab}	1.82 ^a	0.25 ^{ab}	29.3 ^b	66.0 ^a	
		42	2.43 ^a	0.16 ^a	0.93 ^a	1.67 ^a	0.22 ^{ab}	30.1 ^{ab}	87.8 ^a	
		70	2.45 ^a	0.15 ^a	0.91 ^{ab}	1.87 ^a	0.30 ^a	29.4 ^b	65.7 ^a	
		140	2.16 ^a	0.14 ^a	1.05 ^a	1.75 ^a	0.24 ^{ab}	28.3 ^b	74.2 ^a	
	July, 1991	4 months old	0	1.60 ^a	0.12 ^a	1.80 ^a	1.67 ^a	0.27 ^b	54.5 ^a	78.5 ^a
			14	1.72 ^a	0.12 ^a	1.80 ^a	1.60 ^a	0.32 ^{ab}	46.7 ^a	67.4 ^a
			28	2.01 ^a	0.12 ^a	2.02 ^a	1.66 ^a	0.35 ^{ab}	47.4 ^a	68.2 ^a
			42	1.68 ^a	0.14 ^a	1.92 ^a	1.94 ^a	0.37 ^{ab}	50.2 ^a	70.3 ^a
			70	2.04 ^a	0.14 ^a	2.12 ^a	1.85 ^a	0.40 ^a	50.3 ^a	72.4 ^a
			140	1.86 ^a	0.12 ^a	1.77 ^a	1.65 ^a	0.47 ^a	40.4 ^a	58.9 ^a
17 months old	0	1.68 ^a	0.09 ^a	1.15 ^a	2.31 ^a	0.18 ^{bc}	58.6 ^a	146 ^a		
	14	1.45 ^a	0.09 ^a	0.96 ^a	2.04 ^a	0.17 ^c	48.8 ^a	105 ^{ab}		
	28	1.57 ^a	0.09 ^a	0.85 ^a	2.09 ^a	0.18 ^{bc}	42.0 ^a	89.4 ^b		
	42	1.40 ^a	0.09 ^a	0.89 ^a	2.33 ^a	0.24 ^{ab}	49.5 ^a	125 ^{ab}		
	70	1.40 ^a	0.07 ^{ab}	0.82 ^a	2.00 ^a	0.27 ^a	42.3 ^a	95.2 ^b		
	140	1.54 ^a	0.07 ^{ab}	0.86 ^a	2.11 ^a	0.28 ^a	45.5 ^a	99.3 ^b		

#: Duncan's multiple range test: significant at 5 % level.

Table 13. (to be continued).

Field	Sampling month, year	Leaf age	Fertilizer added (kg P ₂ O ₅ /10a)	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Mn
				%	%	%	%	%	ppm	ppm
E	May, 1991	2 months old	0	1.94 ^a #	0.22 ^a	2.19 ^a	1.21 ^a	0.21 ^b	32.5 ^a	49.8 ^a
			20	1.92 ^a	0.25 ^a	1.91 ^a	1.41 ^a	0.25 ^{ab}	31.5 ^a	40.3 ^{ab}
			40	2.05 ^a	0.24 ^a	1.94 ^a	1.11 ^a	0.23 ^{ab}	31.5 ^a	31.8 ^{ab}
			60	2.07 ^a	0.25 ^a	2.09 ^a	1.10 ^a	0.24 ^{ab}	33.4 ^a	31.4 ^{ab}
			100	2.10 ^a	0.25 ^a	2.11 ^a	1.05 ^a	0.27 ^a	32.5 ^a	24.3 ^b
		200	2.08 ^a	0.25 ^a	2.06 ^a	0.98 ^a	0.27 ^a	33.6 ^a	24.3 ^b	
		13 months old	0	2.07 ^a	0.12 ^a	1.39 ^a	2.38 ^a	0.14 ^b	30.8 ^b	99.3 ^a
			20	2.02 ^{ab}	0.15 ^a	1.34 ^a	2.15 ^a	0.16 ^{ab}	35.5 ^b	109 ^a
			40	1.82 ^b	0.13 ^a	1.02 ^a	2.25 ^a	0.17 ^{ab}	32.8 ^b	74.5 ^a
			60	1.75 ^b	0.12 ^a	1.06 ^a	2.03 ^a	0.18 ^{ab}	37.8 ^a	85.6 ^a
	100		2.02 ^{ab}	0.14 ^a	1.25 ^a	2.00 ^a	0.20 ^a	32.6 ^a	62.7 ^a	
	200	1.88 ^{ab}	0.12 ^a	1.11 ^a	1.93 ^a	0.18 ^{ab}	37.6 ^a	81.9 ^a		
	July, 1991	4 months old	0	1.89 ^{ab}	0.20 ^a	2.00 ^a	2.09 ^a	0.28 ^a	56.2 ^a	86.1 ^a
			20	2.08 ^a	0.17 ^a	2.57 ^a	2.45 ^a	0.34 ^a	43.5 ^a	86.9 ^a
			40	2.00 ^a	0.19 ^a	1.74 ^a	2.24 ^a	0.29 ^a	43.2 ^a	77.6 ^a
			60	1.84 ^{ab}	0.22 ^a	2.33 ^a	2.03 ^a	0.34 ^a	43.3 ^a	89.3 ^a
			100	1.99 ^a	0.17 ^a	2.03 ^a	2.47 ^a	0.33 ^a	48.8 ^a	87.8 ^a
		200	1.73 ^b	0.19 ^a	2.09 ^a	2.26 ^a	0.34 ^a	49.7 ^a	101 ^a	
17 months old		0	1.90 ^a	0.14 ^a	1.22 ^a	3.84 ^a	0.21 ^b	49.0 ^a	136 ^a	
		20	1.69 ^a	0.13 ^{ab}	1.06 ^a	3.80 ^a	0.20 ^b	42.5 ^a	87.5 ^b	
		40	1.62 ^a	0.11 ^{ab}	0.81 ^a	4.07 ^a	0.19 ^b	46.1 ^a	134 ^{ab}	
		60	1.80 ^a	0.14 ^a	1.21 ^a	3.85 ^a	0.22 ^{ab}	46.0 ^a	145 ^{ab}	
	100	1.71 ^a	0.12 ^{ab}	0.81 ^a	4.08 ^a	0.23 ^{ab}	42.3 ^a	119 ^{ab}		
200	1.87 ^a	0.13 ^{ab}	1.09 ^a	4.11 ^a	0.29 ^a	50.9 ^a	151 ^a			
F	May, 1991	2 months old	0	2.09 ^b	0.16 ^a	2.32 ^a	0.95 ^a	0.23 ^a	37.6 ^a	33.1 ^a
			14	2.11 ^{ab}	0.23 ^a	2.31 ^a	0.91 ^a	0.22 ^a	35.0 ^a	28.9 ^{ab}
			28	2.16 ^{ab}	0.19 ^a	2.09 ^{ab}	0.69 ^a	0.24 ^a	30.7 ^a	25.9 ^{ab}
			42	2.36 ^a	0.23 ^a	2.03 ^{ab}	0.95 ^a	0.23 ^a	37.7 ^a	28.4 ^{ab}
			70	2.45 ^a	0.24 ^a	1.91 ^b	0.94 ^a	0.23 ^a	37.4 ^a	23.2 ^b
		140	2.66 ^a	0.24 ^a	1.83 ^b	0.90 ^a	0.25 ^a	34.6 ^a	24.2 ^b	
		13 months old	0	2.45 ^a	0.17 ^a	1.19 ^a	1.71 ^{bc}	0.14 ^a	42.7 ^a	55.4 ^a
			14	2.48 ^a	0.15 ^{ab}	1.09 ^a	1.86 ^{abc}	0.14 ^a	38.6 ^a	47.6 ^a
			28	2.41 ^a	0.14 ^{ab}	1.01 ^a	1.99 ^a	0.17 ^a	42.7 ^a	52.1 ^a
			42	2.22 ^a	0.14 ^{ab}	1.03 ^a	1.60 ^c	0.16 ^a	39.5 ^a	52.1 ^a
	70		2.12 ^{ab}	0.12 ^b	1.10 ^a	1.78 ^{abc}	0.17 ^a	37.8 ^a	39.7 ^a	
	140	1.82 ^b	0.13 ^b	1.09 ^a	1.88 ^{ab}	0.18 ^a	39.1 ^a	42.2 ^a		
	July, 1991	4 months old	0	2.00 ^a	0.13 ^{ab}	2.10 ^a	1.34 ^{ab}	0.26 ^{ab}	40.3 ^a	78.6 ^a
			14	1.83 ^a	0.11 ^b	2.16 ^a	1.02 ^b	0.23 ^b	38.0 ^a	58.4 ^a
			28	1.94 ^a	0.13 ^{ab}	2.14 ^a	1.36 ^{ab}	0.27 ^{ab}	37.2 ^a	62.1 ^a
			42	1.61 ^a	0.11 ^{ab}	1.87 ^a	1.34 ^{ab}	0.24 ^b	35.5 ^a	66.0 ^a
			70	2.01 ^a	0.14 ^a	2.17 ^a	1.70 ^a	0.33 ^a	39.6 ^a	77.1 ^a
		140	1.59 ^a	0.12 ^{ab}	1.69 ^a	1.19 ^b	0.27 ^{ab}	32.5 ^a	53.9 ^a	
17 months old		0	1.86 ^a	0.08 ^a	1.08 ^a	2.10 ^{ab}	0.12 ^a	56.6 ^a	85.9 ^a	
		14	1.93 ^a	0.06 ^a	0.97 ^a	2.14 ^{ab}	0.14 ^a	54.6 ^a	81.3 ^a	
		28	1.70 ^a	0.08 ^a	1.01 ^a	1.97 ^b	0.12 ^a	60.1 ^a	93.2 ^a	
		42	1.80 ^a	0.09 ^a	1.03 ^a	2.04 ^{ab}	0.15 ^a	59.1 ^a	93.5 ^a	
	70	1.74 ^a	0.07 ^a	1.00 ^a	2.27 ^a	0.15 ^a	63.3 ^a	92.0 ^a		
140	1.94 ^a	0.07 ^a	1.04 ^a	2.11 ^{ab}	0.16 ^a	53.3 ^a	86.4 ^a			

#: Duncan's multiple range test: significant at 5 % level.

Table 13. (to be continued).

Field	Sampling month, year	Leaf age	Fertilizer added (kg P ₂ O ₅ /10a)	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Mn
				%	%	%	%	%	ppm	ppm
G	May, 1991	2 months old	0	1.57 ^{c#}	0.17 ^a	2.43 ^a	0.86 ^a	0.27 ^a	42.5 ^{ab}	26.1 ^a
			7	1.66 ^{bc}	0.20 ^a	2.30 ^{ab}	0.83 ^a	0.25 ^a	41.8 ^{ab}	30.6 ^a
			14	1.72 ^{bc}	0.22 ^a	2.34 ^a	0.87 ^a	0.25 ^a	41.8 ^{ab}	28.0 ^a
			21	1.82 ^b	0.19 ^a	2.31 ^{ab}	0.83 ^a	0.26 ^a	43.1 ^a	27.9 ^a
			35	2.08 ^a	0.18 ^a	2.00 ^b	0.81 ^a	0.25 ^a	39.2 ^{ab}	28.7 ^a
		70	1.67 ^{bc}	0.20 ^a	2.11 ^{ab}	0.83 ^a	0.27 ^a	37.0 ^b	25.8 ^a	
		13 months old	0	2.42 ^a	0.14 ^{ab}	1.06 ^a	1.87 ^a	0.19 ^{ab}	42.2 ^a	70.3 ^a
			7	2.16 ^a	0.15 ^{ab}	1.16 ^a	1.67 ^a	0.18 ^b	44.9 ^a	82.0 ^a
			14	2.08 ^a	0.14 ^{ab}	1.10 ^a	1.91 ^a	0.19 ^{ab}	46.8 ^a	73.5 ^a
			21	2.22 ^a	0.16 ^a	1.19 ^a	1.65 ^a	0.18 ^b	47.8 ^a	75.3 ^a
	35		2.12 ^a	0.14 ^b	1.08 ^a	1.78 ^a	0.24 ^a	41.3 ^a	74.3 ^a	
	70	2.33 ^a	0.14 ^{ab}	1.06 ^a	1.85 ^a	0.25 ^a	41.5 ^a	69.4 ^a		
	July, 1991	4 months old	0	1.95 ^a	0.17 ^a	2.18 ^b	1.90 ^a	0.39 ^a	41.8 ^a	62.1 ^a
			7	1.87 ^a	0.16 ^a	2.88 ^a	1.88 ^a	0.38 ^a	46.4 ^a	74.5 ^a
			14	1.90 ^a	0.18 ^a	2.77 ^a	2.12 ^a	0.44 ^a	47.4 ^a	78.6 ^a
			21	1.97 ^a	0.18 ^a	2.56 ^a	1.83 ^a	0.37 ^a	39.9 ^a	70.9 ^a
			35	2.10 ^a	0.16 ^a	2.40 ^a	2.16 ^a	0.41 ^a	39.3 ^a	84.9 ^a
			70	2.04 ^a	0.16 ^a	2.88 ^a	2.20 ^a	0.51 ^a	37.8 ^a	75.2 ^a
			17 months old	0	2.06 ^a	0.09 ^a	0.90 ^b	3.10 ^a	0.20 ^b	49.4 ^b
		7		2.09 ^a	0.10 ^a	1.57 ^a	2.89 ^a	0.21 ^b	43.5 ^b	75.2 ^a
		14		1.89 ^a	0.09 ^a	1.15 ^b	3.37 ^a	0.19 ^b	48.5 ^b	79.5 ^a
		21		2.15 ^a	0.09 ^a	1.62 ^a	3.11 ^a	0.21 ^b	59.5 ^a	88.7 ^a
		35		2.12 ^a	0.09 ^a	1.12 ^b	2.99 ^a	0.25 ^{ab}	45.7 ^b	79.7 ^a
		70		1.97 ^a	0.08 ^a	0.87 ^b	3.43 ^a	0.35 ^a	43.6 ^b	82.2 ^a

#: Duncan's multiple range test; significant at 5 % level.



Table 14. The branch length of citrus trees treated with different levels of fused phosphate.

Field	P-application rate (kg P ₂ O ₅ /10a)	Branch length (cm)
A	0	15.1 ^{a*}
	14	13.5 ^a
	28	15.7 ^a
	42	15.7 ^a
	70	14.3 ^a
	140	16.0 ^a
B	0	15.3 ^b
	7	19.4 ^{ab}
	14	18.0 ^a
	21	18.5 ^a
	35	18.1 ^{ab}
	70	19.5 ^a
C	0	16.0 ^a
	20	16.7 ^a
	40	20.0 ^a
	60	16.2 ^a
	100	16.8 ^a
	200	15.7 ^a
D	0	18.2 ^a
	14	19.0 ^a
	28	20.7 ^a
	42	20.5 ^a
	70	19.8 ^a
	140	21.9 ^a
E	0	18.7 ^{ab}
	20	16.6 ^b
	40	16.1 ^b
	60	17.9 ^{ab}
	100	25.9 ^a
	200	17.0 ^b
F	0	19.5 ^a
	14	17.5 ^a
	28	20.5 ^a
	42	19.9 ^a
	70	18.4 ^a
	140	21.8 ^a
G	0	17.6 ^a
	7	19.4 ^a
	14	21.6 ^a
	21	20.8 ^a
	35	18.2 ^a
	70	19.3 ^a

#: Duncan's multiple range test; significant at 5 % level

의 생육 특성의 차이 때문인 것으로 생각한다. 또한, 유효인산 함량이 80 mg/kg 이상인 실험 포장(D, E, F, G)간에는 신초길이의 차이가 뚜렷하지 않았으며 각 실험 포장의 감귤나무의 신초길이는 인산 시비수준의 영향을 크게 받지 않았다. 이는 Reuther 등(1949), 坂本 등(1964), 그리고 鄭 등(1982)의 장기간의 인산 시비 시험에서 인산질 비료가 수체의 생육에 영향을 주지 않았다는 결과와 일치하였다.

마. 감귤의 생산량과의 관계

유효인산 함량이 상이한 실험 포장별 또는 각 실험포장의 인산 시비수준과 감귤의 생산량과의 관계는 table 15와 같다.

포장별 감귤의 생산량을 비교하여 보면 Miyagawa(A, C, D, E, F)보다 Okitsu(B, G)에서 그리고 10년생 Miyagawa (A, D, F) 보다 20년생 (C, E)의 생산량이 더 높았다. 이는 품종간의 수세와 수령에 따라 수관 용적 크기가 달랐기 때문이라고(韓 등, 1977) 생각한다. 한편, 모든 실험포장의 감귤 생산량은 인산 시비수준의 증가와 아무런 관계도 보이지 않았다.

이상에서 기술한 바와 같이 인산 시비수준이 신초의 생육이나 감귤생산량과 유의성있는 상관을 나타내지 않았고, Reuther 등(1969)의 4-6년, 坂本 등(1964)의 10년, 그리고 鄭 등(1982)의 7년간의 인산 시비 시험에서도 수체의 생육이나 감귤 생산량에 인산질 비료가 영향을 주지 못했다고 보고한 사실은 감귤나무의 생육이나 생산량을 조사하여 감귤나무의 시비 반응을 관찰하는 것이 매우 어렵다는 것을 의미하는 것이다.

바. 감귤 품질과의 관계

유효인산 함량이 상이한 실험 포장별 또는 각 실험 포장의 인산시비수준과 감귤품질과의 관계는 table 16과 같다.

포장별 Brix 당도는 유효인산 함량이 가장 낮았던 A 포장에서 가장 낮았으며, 각 실험 포장의 Brix 당도는 인산 시비 수준간에 아무런 차이도 보이지 않았다. 한편, 인산공급이 부족할 경우 감귤의 산함량이 증가한다고 보고(鈴木, 1979; 坂本 등, 1969) 하고있다. 실험포장별 적정산 함량을 비교할 때 토양 유효 인산 함량

Table 15. Fruit yield of citrus trees from the experimental fields treated with different levels of fused phosphate.

Field	P-application rate (kg P ₂ O ₅ /10a)	Yield (kg/tree)
A	0	16.6 ^{a*}
	14	17.2 ^a
	28	15.8 ^a
	42	18.6 ^a
	70	19.9 ^a
	140	18.3 ^a
B	0	34.1 ^a
	7	43.1 ^a
	14	44.0 ^a
	21	30.0 ^a
	35	28.5 ^a
	70	29.0 ^a
C	0	21.1 ^a
	20	23.7 ^a
	40	25.0 ^a
	60	21.1 ^a
	100	23.2 ^a
	200	29.4 ^a
D	0	17.7 ^a
	14	26.6 ^a
	28	18.0 ^a
	42	18.1 ^a
	70	20.2 ^a
	140	25.7 ^a
E	0	30.0 ^a
	20	28.4 ^a
	40	27.7 ^a
	60	26.9 ^a
	100	22.2 ^a
	200	20.4 ^a
F	0	21.8 ^a
	14	12.4 ^a
	28	17.2 ^a
	42	20.0 ^a
	70	16.8 ^a
	140	18.0 ^a
G	0	41.6 ^a
	7	33.6 ^a
	14	45.8 ^a
	21	42.5 ^a
	35	42.8 ^a
	70	33.2 ^a

#: Duncan's multiple range test; significant at 5 % level

Table 16. Citrus fruit quality and the different levels of fused phosphate application.

Field	P-application rate (kg P ₂ O ₅ /10a)	Brix sugar	Titratable acid (%)	Ratio of sugar to acid
A	0	8.90 ^{a*}	1.56 ^a	5.71 ^b
	14	8.73 ^a	1.42 ^{abc}	6.17 ^{ab}
	28	8.73 ^a	1.38 ^{bc}	6.31 ^{ab}
	42	8.53 ^a	1.30 ^c	6.58 ^a
	70	8.77 ^a	1.44 ^{ab}	6.07 ^{ab}
	140	8.80 ^a	1.38 ^{bc}	6.38 ^{ab}
B	0	9.40 ^a	1.70 ^a	5.99 ^b
	7	9.47 ^a	1.63 ^a	5.81 ^b
	14	9.27 ^a	1.51 ^b	6.14 ^{ab}
	21	9.40 ^a	1.54 ^b	6.23 ^{ab}
	35	9.43 ^a	1.45 ^b	6.50 ^a
	70	9.43 ^a	1.42 ^b	6.59 ^a
C	0	9.50 ^a	1.73 ^a	5.49 ^b
	20	9.27 ^a	1.66 ^b	5.57 ^b
	40	9.07 ^a	1.66 ^b	5.46 ^b
	60	9.27 ^a	1.55 ^b	5.98 ^{ab}
	100	9.27 ^a	1.51 ^c	6.14 ^a
	200	9.03 ^a	1.51 ^c	5.98 ^{ab}
D	0	9.53 ^a	1.42 ^a	6.71 ^a
	14	9.30 ^a	1.43 ^a	6.50 ^a
	28	9.40 ^a	1.48 ^a	6.35 ^a
	42	9.50 ^a	1.19 ^b	7.96 ^a
	70	9.03 ^a	1.24 ^b	7.30 ^a
	140	9.57 ^a	1.21 ^b	7.93 ^a
E	0	9.53 ^a	1.26 ^a	7.59 ^a
	20	9.20 ^a	1.23 ^a	7.46 ^a
	40	9.40 ^a	1.19 ^a	7.88 ^a
	60	9.33 ^a	1.33 ^a	7.00 ^a
	100	9.27 ^a	1.27 ^a	7.28 ^a
	200	9.73 ^a	1.16 ^b	8.39 ^a
F	0	9.03 ^a	1.30 ^{ab}	6.95 ^a
	14	9.17 ^a	1.15 ^{ab}	7.99 ^a
	28	9.67 ^a	1.28 ^{ab}	7.53 ^a
	42	8.67 ^a	0.97 ^b	8.90 ^a
	70	8.97 ^a	1.40 ^a	6.42 ^a
	140	8.80 ^a	1.22 ^{ab}	7.23 ^a
G	0	9.00 ^a	1.15 ^a	7.80 ^a
	7	9.07 ^a	1.23 ^a	7.35 ^a
	14	9.37 ^a	1.18 ^a	7.96 ^a
	21	8.97 ^a	1.25 ^a	7.19 ^a
	35	9.17 ^a	1.25 ^a	7.35 ^a
	70	9.13 ^a	1.16 ^a	7.90 ^a

#: Duncan's multiple range test: significant at 5 % level.

이 30 mg/kg보다 낮았던 A, B, C 포장에 80 mg/kg보다 높은 D, E, F, G 포장보다 높은 경향을 보인것은 감귤나무에 대한 인산 공급이 부족했기 때문이며, 따라서 토양 유효인산 함량이 80 mg/kg 이상 되어야 감귤의 산함량이 낮아질 것으로 사료된다. A, B, C, D 포장의 적정인산 함량은 인산 시비 수준이 증가함에 따라 점차 낮아지는 경향을 보여 인산질 비료의 시비반응 중 가장 뚜렷하다고 알려진 감산효과(小林, 1960; 坂本 등, 1969)가 본 시험에서도 관찰되었다. 또한, 실험 포장별 감산비는 유효인산 함량이 30 mg/kg 보다 적었던 A, B, C 포장이 유효인산 함량이 높은 D, E, F, G 포장 보다 낮은 경향을 나타냈으며, A, B, C, D 포장에서는 인산 시비수준이 높아짐에 따라 감산비가 커졌다. 이는 포장별 유효인산 함량이나 인산 시비수준이 Brix 당도에는 영향을 미치지 않았으나 산함량을 크게 낮추는 효과를 가져 왔기 때문이라고 해석되며, 이에 대한 생리적인 기작은 추후 검토되어야 할 것이다.

사. 토양 유효인산과 인산흡수능과의 관계

모든 실험포장의 인산 시비 처리구 반복별 토양 유효인산과 인산흡수능과의 관계를 도시하여 figure 9에 나타내었다.

토양 유효인산과 인산흡수능과의 결정계수(R^2)는 5월 보다 7월에 더 컸고 또한, 실험 수행 년도별로 비교할 때 1차년도 보다 2, 3차년도로 갈수록 인산 시비 영향이 점차 증대됐다. 특히 영년생 과수에서는 토양 양분 함량과 엽분석치와의 상호관계가 매우 적었다고 알려져 있고(Wear와 Cope, 1977; Robinson, 1980) 토양 분석치와 식물에 의한 양분흡수량과는 항상 일치하지 않기 때문에 토양분석치 자체는 식물의 양분 공급을 결정할 수 있는 절대적 지표가 되기 어렵다. 그러나 앞서의 결과에서 보듯이 인산흡수능과 토양 유효인산간에 매우 밀접한 관계를 보였기 때문에 그 관계를 조사하면 토양중 적정유효인산 함량에 대한 적정기준치를 설정해 낼 수 있다고 사료된다. figure 9에서 보는 바와 같이 유효인산 함량이 100-150 mg/kg 이상일 때 감귤나무의 뿌리에 의한 인산흡수능이 완만하게 저하되므로 이는 그 이상의 토양 유효인산 함량은 과잉이라는 사실을 나타내는 것이다. 토양중 유효인산 함량이 100-150 mg/kg인 경우 인산흡수능은

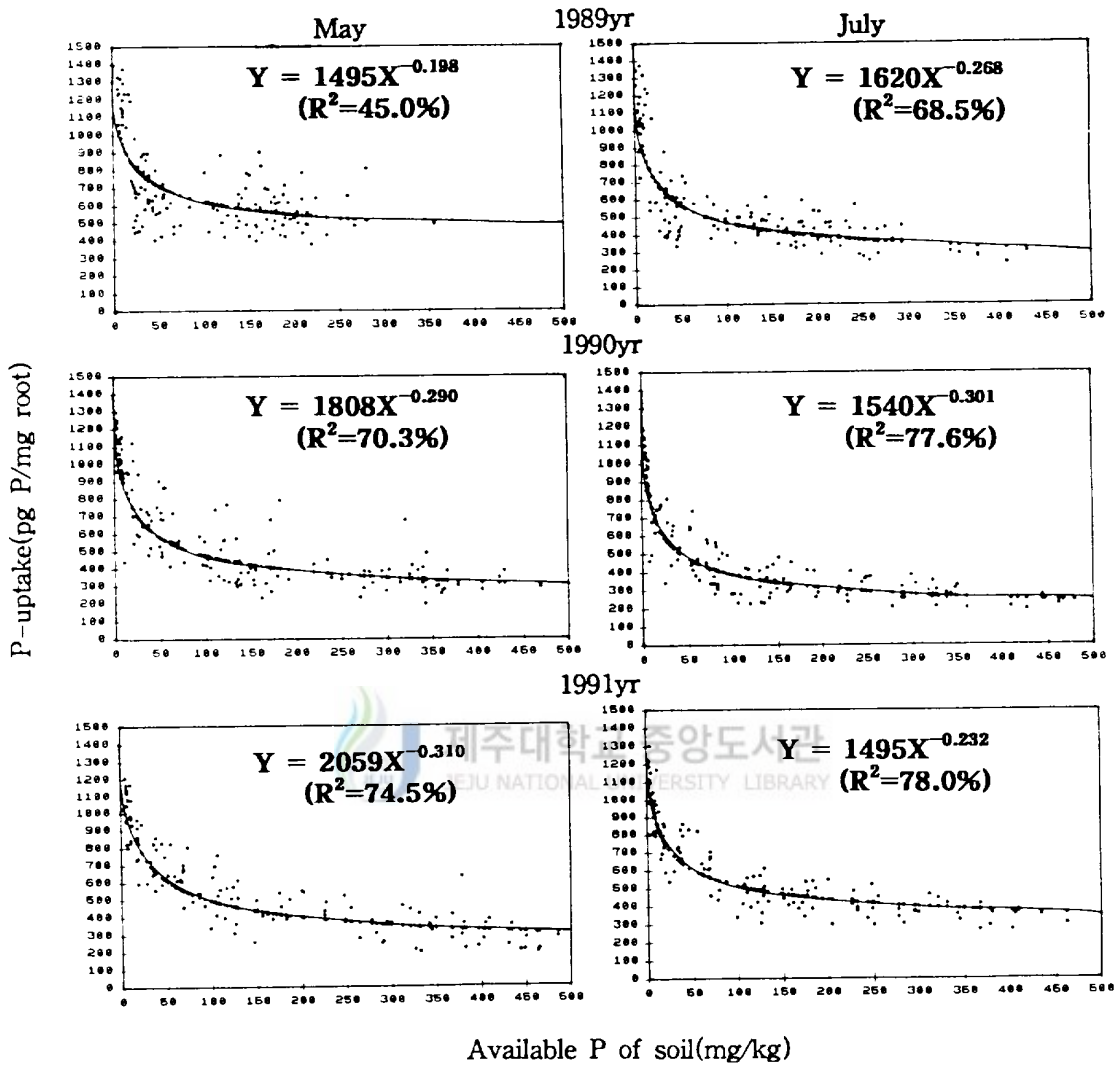


Figure 9. Relation between P-uptake by citrus roots and soil available P.

400-500 pg P/mg root 인데 이 수치는 감귤나무에서 인산질 비료 시비판단을 위한 기준치가 될 것임을 제안한다.

시험 4. 농가 감귤원에서의 인산흡수능, 토양 유효인산 그리고 엽분석과의 관계
제주도내 성목 감귤원의 인산흡수능, 토양 유효인산, 그리고 엽분석과의 상호 관계를 조사하여 그 결과를 figure 10에 나타내었다. 포장실험에서와 마찬가지로 토양 유효인산과 인산흡수능간의 결정계수($R^2=67.0\%$)가 인산흡수능과 엽중 P 농도($R^2=10.4\%$), 그리고 토양 유효인산과 엽중 P 농도간의 결정계수($R^2=6.20\%$)보다 더 컸다. 그러므로 ^{32}P bioassay에 의한 인산흡수능 측정법이 감귤나무의 영양상태를 진단하는 데 더 유리한 것임을 일반 농가 감귤원의 실험에서도 확인할 수 있었다. 또한, 토양 유효인산 함량이 150 ppm 이상일 때 인산흡수능이 완만하게 저하됐고, 이때의 인산흡수능은 450 pg P/mg root 범위를 보임으로써 앞서 포장실험에서 정한 기준치 범위 내에 들고 있었다.

이상의 결과에서처럼 엽분석이나 감귤 생산량 그리고 생육조사 결과로는 감귤나무의 시비반응을 관찰할 수 없었던 반면에 생리적인 인산요구도를 알아보는 ^{32}P bioassay 법으로는 감귤나무의 시비반응을 관찰할 수 있었다.

또한, 본 실험에서 제시한 400-500 pg P/mg root 의 인산흡수능 수치는 감귤나무의 인산 영양상태를 진단하는 기준으로 활용될 수 있으리라 기대되며 특히, 인산흡수능과 토양 유효인산 함량과의 관계에서 유효인산 함량이 100-150 mg/kg 이상일 때 인산흡수능이 감소하지 않는 사실은 100-150 mg/kg 이상의 유효 인산함량은 감귤나무의 생육에 불필요한 인산양임을 암시하는 것으로 이러한 조건의 감귤원에는 인산질 비료를 시비해도 시비반응이 나타나지 않을 것이므로 인산시비를 당분간 하지 않더라도 감귤 생육에 지장을 주지 않을 것으로 사료된다.

그러나, 감귤나무의 인산영양 진단과 합리적인 비배관리 방안을 제시하기 위한 대농민 지도에 ^{32}P bioassay 법을 효율적으로 이용하기 위해서는 조건이 상이한 포장(수령, 해발, 토양등)을 많이 선정하여 반복 실험을 실시하여 인산흡수능 결

과를 데이터 베이스화시키는 일이 중요하며, 본 실험에서 제시한 인산흡수능 수치(400-500 pg P/mg root)가 감귤나무의 질소 및 가리의 영양생리와 환경요인들과 어떠한 상호작용을 갖는지를 조사하여 그 값의 변화유무에 대한 지속적인 검토가 요망된다.

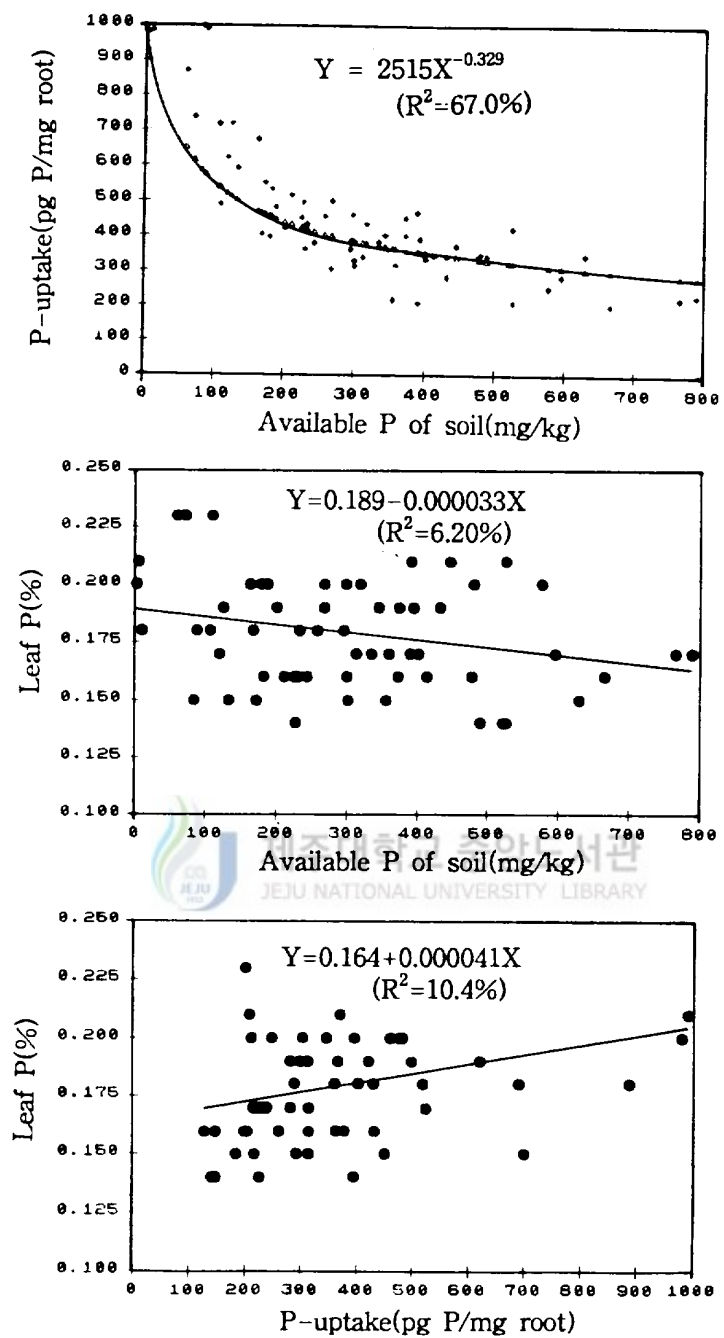


Figure 10. Relation between P-uptake, leaf P-content and soil available P in citurs orchards.

IV. 적 요

감귤나무의 인산영양진단으로 엽분석 방법은 신속성과 정확성이 떨어지기 때문에 감귤나무의 생리적 양분 요구도를 정확히 진단할 수 있는 방법의 개발이 요구되고 있다. 이와 같은 감귤나무의 인산 영양 진단을 신속, 정확하게 할 수 있는 ^{32}P bioassay법을 개발하였고 이를 pot 재배, 포장 실험 및 능가포장에서의 활용 가능성을 검토하였고 그 결과는 다음과 같다.

1. ^{32}P Bioassay 실험조건 확립

감귤나무의 영양 진단에 적합한 ^{32}P bioassay 실험방법을 확립하기 위하여 사경제배한 2년생 조생은주(Miyagawa)와 감귤원에서 자란 10년생 조생은주(Miyagawa)를 공시재료로 이용하였다.

가. 뿌리에 흡수된 ^{32}P 를 액체형광계수법으로 직접 측정할 경우 뿌리 자체에 의해서 β 선이 흡수되어 야기되는 물리적 소광을 보정하여 계산한 ^{32}P 방사능 값과 뿌리를 분해한 후에 측정하여 얻은 ^{32}P 방사능 값은 고도의 유의성이 있는 정도의 상관을 보였다. 따라서 본 실험결과로 얻은 다중회귀식은 뿌리중에 있는 ^{32}P 의 방사능을 직접 측정하므로써 감귤나무의 인산 영양 진단을 신속 정확하게 할 수 있도록 하였다.

나. ^{32}P bioassay 실험용 뿌리의 보관은 4 °C 보다 실온(20 °C) 이 좋았다.

다. 5×10^{-3} M KCN을 처리했을 때 절단근에 의한 인산흡수능이 저해받는 것으로 보아 ^{32}P bioassay 법은 대사적으로 요구되는 인산흡수능을 측정하는 방법임을 보였다.

라. 수관 바깥쪽 5-15 cm 토심에 분포되어 있는 뿌리가 인산의 흡수 및 지상 부로의 이동에 가장 많이 관여하고 있었다. 따라서 포장에서 ^{32}P bioassay용 뿌리 채취 위치는 수관 밖 5-15 cm 토심이 적당하다.

마. 감귤나무의 ^{32}P bioassay는 5월이나 9월보다 7월에 실시하는 것이 좋았다.

2. 사경제배 실험

^{32}P bioassay 법이 감귤나무에 잘 적용될 수 있는지를 알아보기 위해 2년생 조생은주 Miyagawa 와 Okitsu 품종을 공시하여 인산 6 수준으로 6개월간 사경제배를 실시하고 인산흡수능, 엽중 인산함량 및 신초의 길이를 조사했다.

가. 인산공급 수준과 인산흡수능 간에는 고도의 부의 상관을 보인 것으로 보아 감귤나무에서도 ^{32}P bioassay 법의 원리가 잘 적용되고 있음을 나타냈다.

나. 엽중 인산농도와 신초의 길이는 인산 공급 수준의 증가에 의하여 영향을 받지 않았다.

다. Miyagawa 와 Okitsu 품종간에는 인산흡수능의 차이가 없었다.

3. Pot 재배 실험

^{32}P bioassay 법과 토양 유효인산과의 관계를 알아 보기 위해 2 년생 조생은주 Miyagawa 와 Okitsu 품종을 흑색과 갈색 토양에 공시하여 인산질 비료양 7 수준으로 6개월간 재배한 뒤 인산흡수능, 엽중 P 함량, 신초의 길이 그리고 토양 유효인산 함량을 조사했다.

가. 인산 시비 수준이 증가함에 따라 인산흡수능은 유의적인 부의 감소를 보였으나 엽중 인산 함량과 신초의 길이와는 상관을 나타내지 않았다.

나. 토양 유효인산 함량과 인산흡수능간에는 유의적인 부의 상관을 보였다.

다. Miyagawa와 Okitsu 품종간에는 인산흡수능의 차이가 없었다.

4. 포장실험

토양 유효인산 함량이 상이한 흑색 또는 갈색 토양 7개소의 조생 은주 밀감 나무 포장에서 권장 시비량의 0, 0.5, 1, 1.5, 2.5, 5배인 6개 수준으로 용성인 비를 3년간 시비하면서 인산흡수능 측정, 엽분석(N, P, K, Ca, Mg, Mn, Zn), 토양분석(유효인산, 총인산, pH, 치환성 K, Ca, Mg, 그리고 CEC)을 하였으며, 신초의 길이, 감귤 생산량, 그리고 감귤의 품질(Brix당도, 적정산, 감산비)을 조사하였다.

가. 시험에 사용된 7개 포장을 비교하면 토양의 유효인산 함량이 낮은 포장에서 인산 흡수능이 높았고 토양 유효인산이 80 mg/kg 보다 높은 포장의 인산흡수능은 서로 비슷하였다.

나. 토양 유효인산 함량이 30 mg/kg 보다 낮은 포장에서는 인산시비수준을 증가함에 따라 인산흡수능이 유의적인 감소경향을 보였는데 이같은 감소경향은 실험 수행 1차년도 보다 2, 3차 년도에 더 뚜렷하였다. 한편, 80 mg/kg 이상의 유효인산을 갖는 포장에서는 인산비료 처리에 따른 인산흡수능의 차이가 거의 없었다.

다. 용성인비의 시비수준이 증가함에 따라 토양의 유효인산과 총인산 함량이 높아지는 경향을 보였고 토양의 pH, 치환성 Ca과 Mg 함량 그리고 CEC가 증가 되었다.

라. 엽중 N, P, K, Ca, Mn, Zn의 함량은 유효인산 함량이 상이한 실험 포장별로 그리고 모든 실험 포장의 인산 시비 수준간에 차이를 보이지 않았으나 엽중 Mg 함량은 포장별로 다소 차이는 있으나 용성인비 시비수준이 증가함에 따라 높아지는 경향이였다.

마. 인산 시비 수준에 따른 신초의 생육 및 감귤의 생산량 변화는 관찰되지 않았다.

바. Brix 당도는 실험포장 및 인산 시비 수준에 따른 차이를 보이지 않은 반면에, 적정산은 토양 유효인산 함량이 80 mg/kg 이하인 포장보다 높은 포장에서 그 함량이 낮았다. 토양 유효인산 함량이 80 mg/kg 보다 낮은 경우에는 인산 시비 수준이 증가함에 따라 감귤의 적정산 함량이 낮아지는 경향을 보였다.

아. 토양 유효인산 함량이 100-150 mg/kg 이상일 때 인산흡수능은 완만한 감소를 보였으며 이때 인산흡수능이 400-500 pg P/mg root 이므로, 이 수치는 감귤의 영양상태 그리고 인산의 시비 여부를 판단하는 기준치로 활용될 수 있을 것으로 본다.

5. 농가 감귤원에서의 인산흡수능, 토양 유효인산 그리고 엽분석과의 관계

포장 실험의 ^{32}P bioassay 실험결과가 일반 농가 감귤원에서 적용될 수 있는지의 가능성을 알아보기 위해 제주도내 60여개의 성목 감귤원에서 인산흡수능, 토양 유효인산 함량 그리고 엽중 인산 함량을 분석하여 상호 관계를 비교하였다.

가. 인산 흡수능과 토양 유효인산과의 상관($R^2=67.0\%$)이 인산흡수능과 엽중 인산 함량($R^2=10.4\%$), 그리고 토양 유효인산과 엽중 인산 함량($R^2=6.20\%$)과의 상관 보다 훨씬 더 높기 때문에 ^{32}P bioassay법에 의한 인산흡수능 측정법이 감귤나무의 인산 영양 상태를 정확하게 진단할 수 있음을 보였다.

나. 토양 유효인산 함량이 150 mg/kg 일때 부터 인산흡수능의 감소가 완만했는데 이때의 인산흡수능은 450 pg P/mg root 로서 포장실험에서 얻은 결과와 비슷하였다.

이상과 같이 엽분석, 감귤의 생산량 그리고 생육조사 결과를 가지고서는 감귤나무의 시비반응을 관찰하기 곤란 하였으나 ^{32}P bioassay 법으로 측정된 인산흡수능 값으로 감귤나무의 영양 상태 또는 인산질 비료의 공급여부를 판단할 수 있었다. 감귤나무의 영양 상태를 진단할 수 있는 기준치인 400-500 pg P/mg root 이하의 인산흡수능을 갖거나 토양 유효인산 함량이 100-150 mg/kg 이상인 감귤원에서는 인산 시비 반응이 없을 것이므로 일시적인 인산시비중단이 가능할 것이나 반대로 인산흡수능과 토양 유효인산 함량이 이상의 기준치에 못미치는 경우에는 인산질 비료 공급이 필요할 것이라고 생각한다. 또한, ^{32}P bioassay 법을 대농민 지도에 지속적으로 이용하기 위해서는 감귤나무의 품종과 수령, 해발, 토양 특성등을 고려하여 조건이 상이한 포장을 선정한 뒤 인산흡수능을 측정하고 그 결과를 데이터 베이스화 시키는 일이 중요하다고 생각된다.

V. 참고 문헌

1. 安達義正, 中島芳和, 堀金正巳, 1966. ユス台およびカラタチ台温州ミカン生育ならびに 果實の 收量と 品質に 及ぼす りん酸施肥の 影響, 園學雜, 35(2): 98-105.
2. Ahn, Y. S. 1987. Plant analysis for evaluating plant nutrition. In "International Training Workshop on Soil Test and Plant Analysis". RDA & FFTC/ASPAC, pp. 355-400.
3. 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. ウンシュウミカン園における 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.
4. Bar-Akiva, A. and J. Sternbaum. 1965. Possible use of the nitrate reductase activity of leaves as a measure of the nitrogen requirement of Citrus trees. Plant. Cell. Physiol., 6:575-577.
5. Bestford, R. T. 1975. Pyruvate kinase and phosphatase as a potential indicators of potassium and magnesium status of tomato and cucumber. J. Sci. Food. Agric., 26:125-133.
6. Bestford, R. T. 1979. Phosphorus nutrition and acid phosphatase activity in the leaves of seven plant species. J. Sci. Food. Agric., 30:281-285.
7. Bielecki, R. L. and I. B. Ferguson. 1983. Physiology and metabolism of phosphate and its compounds. pp.423-426. In "Inorganic Plant Nutrition" (ed. Lauchli, A. and R. L. Bielecki). Encyclopedia of Plant Physiology Vol. 15A. Springer-Verlag, New York.
8. Bingham, F. T. and J. P. Martin. 1956. Effects of soil phosphorus on growth and minor element nutrition of citrus. Soil Sci., 20(3):382-385.

9. Bingham, F. T., J. P. Martin and J. A. Chastain, 1958. Effects of phosphorus fertilization of California soils on minor element nutrition of citrus. *Soil Sci.*, 86:24-31.
10. Bouma, D. and E. J. Dowling. 1962. The physiological assessment of the nutrient status of plants. I. Preliminary experiments with phosphorus. *Aust. J. Agric. Res.*, 13:791-800.
11. Bouma, D. and E. J. Dowling. 1976. The relationship between the phosphorus status of subterranean clover plants and the dry weight responses of detached leaves in solutions with and without phosphate. *Aust. J. Agric. Res.*, 27:53-62.
12. Bowen, G. D. 1971. Early detection of phosphate deficiency in plants. *Comm. in Soil Sci. and Plant Analysis*, 1:293-298.
13. 변석용, 정재권, 문덕영, 1981. 감귤재배법 개선에 관한 연구-감귤원의 석회 시용에 의한 인산비효 증진에 관한 시험-. *제시연보*:150-157.
14. Chapman, H. D. 1934. The phosphorus of southern California soils in relation to Citrus fertilization. *Univ. Calif. Agr. Expt. Sta. Bul.*, 571:22.
15. Chapman, H. D. 1951. Why so much nitrogen?. *Citrus leaves*, 31(4):5.
16. Chapman, H. D. 1967. The mineral nutrition of Citrus. pp. 127-289. In "The Citrus Industry vol.III Anatomy, Physiology, Mineral Nutrition, Seed Propagation, Genetics, Growth Regulators" (ed. Reuther, W., L. D. Batchelor and H. J. Webber). *Univ. Calif. Div. Agr. Sci.*, Berkley, California.
17. 제주도, 1971. 제주도 통계연보.
18. 제주도, 1986. 제주도 통계연보.

19. 제주도, 1990. 제주도 통계연보.
20. 제주도, 1991. 제주도 통계연보.
21. 千葉勉, 1982. 果樹園の土壤管理と施肥技術, 博友社, pp. 128, 160.
22. 趙成鎭(編輯代表), 1972. 新制 肥科學, 鄉文社, pp. 216.
23. 鄭在權, 文德永, 權赫謨, 卞碩庸, 1982. 柑橘栽培法改善에 關한 研究 - 柑橘園 石灰施用에 依한 磷酸肥效 增進試驗-, 濟試年報, pp.185-204.
24. Dighton, J. and A. F. Harrison. 1983. Phosphorus nutrition of lodgepole pine and sitka spruce stands as indicated by a root bioassay. *Forestry*, 56(1):33-43.
25. Eggert, R. L., T. Kardos and R. D. Smith. 1952. The relative absorption of phosphorus by apple trees and fruit from folia sprays and from soil applications of fertilizer using radioactive phosphorus as tracer. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 60:75.
26. Elrick, R. H. and R. P. Parker. 1968. The use of Cerenkov radiation in the measurement of β -emitting radionuclides. *Intern. J. Appl. Radiation Isotopes*, 19:263-271.
27. Embleton, T. W., C. K. Labanauskas, W. W. Jones and C. B. Cree. 1963. Interrelations of leaf sampling methods and nutritional status of orange trees and their influence on the macro-and micronutrient concentrations in orange leaves. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 82:131-141.
28. Embleton, T. W., H. J. Reitz and W. W. Jones. 1967. Citrus fertilization. pp. 124-125. 138. In "The Citrus Industry vol.III Propagation, Planting, Weed Control, Soils, Fertilizing, Pruning, Irrigation, Climate, Frost Protection" (ed. Reuther, W.). Univ. Calif. Div. Agr. Sci., Berkley, California.

29. Embleton, T. W., J. D. Kirkpatrick and E. R. Parker. 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.
30. 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.
31. Embleton, T. W., W. W. Jones, C. K. Labanauskas and R. G. Platt. 1971. Leaf analysis and phosphorus fertilization of orange, Calif. Citrog., 56:101-124.
32. Epstein, E. 1972. Mineral nutrition of plants, Principle and perspectives. Wiley and Sons, New York, pp. 63, 288.
33. Garter, O. G. and D. J. Lathwell. 1969. Effects of temperature on orthophosphate absorption by excised corn roots. Plant Physiol., 42: 1407-1412.
34. Greenham, D. W. P. 1980. Nutrient cycling: the estimation of orchard nutrient uptake. pp. 345-352. In "Mineral Nutrition of Fruit trees" (ed. Atkinson, D., J. E. Jackson, R. O. Sharples and W. M. Waller). Butterworths, London-Boston.
35. Greenwood, E. A. N., D. W. Goodall and Z. V. Titmanis. 1965. The measurement of nitrogen deficiency in grass swards. Plant Soil., 23: 97-116.
36. Goodwin, T. W. and E. I. Mercer. 1983. Introduction to plant biochemistry. Pergamon Press, Oxford, pp. 166-167.
37. 韓海龍, 權五均, 金漢鏞, 鄭舜京, 文德永, 1977. 柑橘栽培新書, 先進文化社, pp. 83-84, 208, 364, 378, 395.

38. Harrison, A. F. and D. R. Helliwell. 1979. A bioassay for comparing phosphorus availability in soils. *J. of Applied Ecology*, 16:497-505.
39. Harrison, A. F., J. C. Hatton and K. Tayler. 1986. Application of a root bioassay for determination of P-deficiency in high-altitude grasslands. *J. Sci. Fd. Agric.*, 37:10-11.
40. Harrison, A. F. and J. Dighton. 1986. A root bioassay of determination of P-deficiency in commercial forest stands. *J. Sci. Fd. Agric.*, 37:16-17.
41. Harrison, A. F., J. Dighton and A. H. F. Brown. 1982. Application of the P-deficiency bioassay to trees. *I.T.E. Ann. Report*, pp.84-85.
42. Harrison, A. F., J. Dighton and J. C. Hatton. 1984. A phosphorus-deficiency bioassay for trees and grasses growing in low nutrient status soils. *Vlth International Colloquium for the Optimization of Plant Nutrition*. Montpellier, France, pp. 957-963.
43. Hewitt, E. J. and P. Tatham. 1960. Interaction of mineral deficiency and nitrogen source on acid phosphatase activity in leaf extracts. *J. Exp. Bot.*, 11:367-375.
44. 廣部 誠, 大垣智昭, 1968. 温州ミカンの養分吸収に関する調査(第1報) 未結果幼樹の時期別 養分吸収について, 神奈川園報告, 16:4-11.
45. 洪淳範, 鄭舜京, 1979. 温州蜜柑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(園藝, 農工), 21:67-75.
46. 藤原彰夫, 岸本菊夫. 1987. 磷と植物(I), 磷の農學と農業技術, 博友社, pp. 36-45.
47. IAEA, 1964. Laboratory training manual on the use of isotopes and radiation in soil-plant relations research. Technical Report Series, No.29 pp. 151-153.

48. IAEA, 1975. Root activity patterns of some tree crops. Technical Report Series. No.170 . pp. 1-24.
49. IAEA, 1975. Tracer manual on crops and soils. Technical Report Series No.171. p. 27.
50. 井上頼數, 大井卓雄, 1963. 碟耕栽培-技術と經營, 地球全書-29, pp.262-263.
51. 石原正義. 1982. 果樹の 榮養生理, 農山漁村文化協會, pp. 27, 31-59, 75, 273.
52. 井上 宏, 1971. 温州ミカンの 榮養生理に 關する 研究 第1報. 砂耕における チツ素施用の 有無と 幼樹の 榮養生長, 農及園, 46(1):59-60.
53. Jones, W. W., T. W. Embleton and R. G. Platt, 1968. Leaf analysis and nitrogen fertilization of oranges. Calif. Citrog., 53(10): 367-376.
54. 金子 衛, 鈴木鐵男, 田中 實, 1970. 温州ミカンの 生育と 結實ならびに 土壤の 化學性に及ぼす 多肥の 影響, 愛和縣農試研報, B(2):1-10.
55. 果樹の 栽培新技術編輯委員會編, 1978. 果樹の 栽培新技術, 博友社, pp. 320, 389, 427.
56. 姜景璿, 1990. 濟州柑橘의 輸出可能性과 問題点, 第5回 柑橘 심포지움, 第10回 濟州 柑橘 祝祭 行事 推進 委員會. pp. 12-52.
57. 金溍玉, 1974. 濟州道 柑橘園 土壤의 磷酸 形態 및 吸着에 關한 研究, 韓農化誌, 17(3):219-233.
58. 金溍玉, 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.
59. 金鐘天, 鄭碩文, 孔聖宰, 1969. 葉分析에 의한 우리나라 柑橘類(温州蜜柑)의 營養狀態에 關한 研究, 農試報告, 12(2):45-51.

60. 金泳雙, 裴大漢, 金鍾天, 洪鍾雲, 吳在燮, 韓海龍, 1973. 濟州道 柑橘栽培地域 實態 調查 報告, 農村振興廳.
61. 金仁學, 南仁熙, 1975. 濟州道 農業의 現況과 問題點, 韓土肥誌, 8(3):161-170.
62. 小林 章, 1960. 磷酸と 果實の 收量 品質, 農及園, 35(1): 7-13.
63. Kolthoff, I. M., E. B. Sandell, E. J. Meehan and S. Bruckenstein. 1969. Quantitative chemical analysis. The Macmillan Company, London, pp. 642-649.
64. Koo, R. C.J., H. J. Reitz and J. W. Sites. 1958. A survey of the mineral nutrition status of Valencia orange in Florida. Univ. Fla. Agr. Expt. Sta. Bul., 604:59.
65. Labanauskas, C. K. 1966. Effects of orange leaf-washing techniques on removal of surface contaminants and nutrient losses. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., 89:210-205.
66. 李鍾基, 李根常, 1975. 濟州道 草地開發에 있어서 土壤學的 問題點, 韓土肥誌, 8(3):153-160.
67. 林善旭, 1982. 植物 榮養. 肥科學, 日新社, p. 21.
68. Leggett, J. E., R. A. Galloway and H. G. Gauch. 1965. Calcium activation of orthophosphate absorption by barley roots. Plant Physiol., 40: 897-902.
69. Marschner, H. 1986. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London, pp. 391-407.
70. Mengel, K. and E. A. Kirkby. 1987. Principles of plant nutrition. 4th ed. International Potash Institute, Switzerland, pp. 414, 419-420.
71. 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 관한 研究, 農試報告, 22(園藝, 蠶業) : 63-70.
72. 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.
73. 中間和光, 小池 章, 石田 隆, 西垣 晋, 涉谷政夫, 小山雄生, 花岡郁子, 1961. 温州 ミカン對する 磷酸質 肥料の 影響について(第 1 報) ^{32}P 使用による 磷酸の 移動分布について, 園學雜, 31(2):9-14.
74. 농촌진흥청, 1983. 농사시험 연구조사기준, pp. 223-227.
75. 농촌진흥청 농업기술연구소, 1988. 토양화학분석법- 토양, 식물체, 토양미생물- pp. 28, 89-91, 97-98, 109, 121-122, 222-223, 226-227.
76. 농협중앙회 제주도지회, 1991. '91년산 감귤 유통 처리 실태 조사 분석.
77. 大阪府立大學農學部 園藝學教室編, 1981. 園藝學實驗實習, 養賢堂, pp. 162-163.
78. 朴薰, 柳順昊, 洪淳範, 1975. 濟州道 柑橘園土壤의 特性和 管理, 韓土肥誌, 8(3):133-153.
79. 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.
80. Reuther, W. and J. R. Neller. 1944. Phosphate response in a Valencia grove in the eastern Everglades. Florida State Hort. Soc. Proc., 57:110.
81. Reuther, W., T. W. Embleton and W. W. Jones. 1958. Mineral nutrition of tree crops. Ann. Rev. Plant Physiol., 9:175-206.
82. Righetti, T.L. 1987. Using tissue mineral analysis in perennial crops. pp. 150-192. In "International Training Workshop on Soil Test and

Plant Analysis". RDA & FFTC/ASPAC.

83. Robinson, J. B. D. 1980. Soil and tissue analysis in predicting nutrient needs. pp. 355-364. In " Mineral Nutrition of Fruit Trees" (ed. Atkinson, D., J. E. Jackson, R. O. Sharples and W. M. Waller). Butterworths, London-Boston.
84. Rodney, D. R. and G. C. Sharples. 1961. Responses of Lisbon lemon trees to applications of nitrogen, phosphate and manure. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., 78:181-185.
85. 佐伯秀章, 岡本昌雄, 1956. 土壤磷酸の固定とその有効化に関する研究(第3報)-モンモリロナイト系-, 日本土肥雑, 27(4):15-20.
86. 坂本辰馬, 圓木忠志, 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に土壤リン酸に及ぼす10年間のリン酸肥料施用の影響, 園學雜, 33(3):204-212.
87. 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レスポンス, 園學雜, 38(3):230-238.
88. 佐藤公一, 森英男, 松井修, 北島博, 千葉勉, 1974. 果樹園藝大事典, 養賢堂, pp. 1144.
89. SAS Institute Inc. 1985. SAS/STAT guide for personal computers. ver. 6.0 ed., pp 57-82, 183-260, 269-336.
90. 慎鏞華, 金溼玉, 1975. 火山灰土의 特性에 關하여, 韓土肥誌, 8(3):113-120.
91. 慎鏞華, 李桐兌, 金明華, 蔡序錫, 1964. 濟州道 概略 土壤 調査報告, 農試研報, 7(1):49-63.
92. Smith, P. F. 1962. Mineral analysis of plant tissue. Ann. Rev. Plant Physiol. 13:81-108.

93. Spencer W. F. 1960. Effect of heavy applications of phosphate and lime on nutrient uptake, growth, freeze injury, and root distribution of grapefruit trees. *Soil Sci.*, 89:311-318.
94. 鈴木鐵男, 1979. 果樹の無機營養と果實品質ならびに施肥をめぐる二三の問題点, *農及園*, 54(5):637-642.
95. 鈴木鐵男, 金原每治, 木神原正義, 深井尙也, 1972. リン酸および石灰の施用が温州ミカンの生育と結實に及ぼす影響, *園學雜*, 41(2):157-164.
96. Terry, N. and A. Ulrich. 1973. Effects of Potassium deficiency on the photosynthesis and respiration of leaves of sugar beet. *Plant Physiol.*, 51:783-786.
97. 田中諭一郎, 中間和光, 小池章, 石田隆, 西垣晋, 渋谷政夫, 小山雄生, 1960. 温州ミカンに對する磷酸質肥料の影響について(第1報) ^{32}P 使用による磷酸の移動分布について, *園學雜*, 29(1):63-69.
98. 嚴基泰, 朱永熙, 李景洙, 愼鎬華, 1978. 濟州道 綜合開發計劃을 위한 土壤特性의 研究, *農試研報*, 19(土肥. 作保. 菌耳編):1-20.
99. 柳長杰, 宋成俊, 1988. 放射能 同位元素 P-32 를 利用한 作物磷酸 榮養 診斷法, 放射能 利用 研究報告, 3:11-20.
100. Wear, J. I. and J.T. Cope, 1977. Relationships between soil test values and analysis of pecan leaves taken at three dates, *Communs. Soil Sci. Pl. Analysis*, 7:241-252.
101. West, E. S. 1938. Zinc-cured mottle leaf in citrus induced by excess phosphate. *Australian Council Sci. and Indus. Res. Jour.*, 11(2):182.
102. 湯田英二, 1973. 果樹に對する磷酸施用法と效果, *果實日本*, 28(4):98-103.
103. 柳寅秀, 趙成鎮, 陸昌洙, 1974. 置換性 Al 含量에 따른 石灰所要量 決定에 관한 研究, *韓土肥誌*, 7(3):185-191.

-
104. 柳寅秀, 柳順昊, 尹頡熙, 1975. 濟州道 田土壤의 肥沃度 現況과 改良, 韓土肥誌, 8(3):121-132.
105. 柳順昊, 宋寬哲, 1984. 立地土壤의 特性, 濟州大 亞農研, 1:73-104.



감사의 글

본 논문이 나오기까지 시종 지도와 격려를 아끼지 않으신 유장걸교수님께 마음 깊이 감사드립니다.

바쁘신 중에도 본 논문의 심사를 맡아 주신 강순선교수님, 한해룡교수님, 임선욱교수님, 한기학 제주 감귤연구소장님께도 심심한 감사를 드립니다.

아울러 늘 깊은 관심과 조언을 아끼지 않으신 고정삼교수님, 류기중교수님, 현해남교수님, 김찬식교수님께 감사드립니다.

또한 실험여건을 마련하여 주신 제주대학교 방사능이용연구소장 김재하교수님과 직원 여러분, 화학분석기기의 사용에 협조하여 주신 공동실험실습관 관계자 여러분 그리고 실험수행과 자료정리에 도움을 아끼지 않은 홍경애와 김양록, 양상호 후배 그리고 농화학과 학생여러분께 감사드립니다.

오늘이 있기까지 염려하여 주시고 보살피 주신 어머니님, 장인, 장모님, 친지들 그리고 모든 것을 함께해 준 아내 정희선과 사랑스런 아이 동협, 현지, 동민에게 고마움을 깊이 새기며, 이 논문을 아버님의 영전에 바칩니다.



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY