

# 방사능 동위원소 (P-32)를 이용한 감귤나무의 인산 영양 진단법의 개발

유장걸, 한해룡, 김형옥, 송성준, 현해남

## Development of the Phosphorus Diagnosis Method for Citrus Tree Fertilization using P-32 Bioassay

*Zang-Kual U., Hae-Ryung Han, Heoyng-Ok Kim, Sung-June Song, and  
Hae-Nam Hyun*

P-32 bioassay technique which were developed for determining forest tree's P-deficiency was introduced in order to provide an effective diagnosis method of phosphorus status in citrus tree.

Some modification of the methods should be done because the physiological characteristics of forest trees and citrus trees are quite different, even though the basic principle is same.

Thus, the fundamental steps needed to conduct the phosphorus diagnosis were investigated in the sand culture, pot culture and field experiment using two cultivars "Kung-Chun" and "Hung-Jin" of citrus trees.

- 1) The exponential relationships were obtained both in Kung-Chun and Hung-Jin from the sand culture experiment and the pot experiment.
- 2) No correlation between fertilizer levels and bioassay P-uptake was found from the field experiment in May, but in July and September there was a tendency that higher fertilization reduced bioassay P-uptake, even though that was not statistically significant.

Seasonal changes of bioassay P-uptake were observed from all the fields.

Soil fertility was more closely related with bioassay P-uptake than tree ages and plantation altitudes.

- 3) The degree of correlation of bioassay P-uptake and soil available phosphorus or P-contents in leaves was higher than that of soil available phosphorus and P-contents in leaves, indicating that P-32 bioassay method is more sensitive than the conventional ones(soil and plant analyses) to make the P-status diagnosis.
- 4) The kept at room temperature had higher P-32 absorption activity than those at 4°C
- 5) The active fine roots were distributed mostly at the upper layer(0~5cm) of soil and around at the distance of canopy edge.

## 서론

영년식물인 과수나 산림수의 중요성을 감안해 볼 때 그들에 대한 영양생리적 기초 연구는 우리나라의 경우 미흡하기 짝이 없는 실정이다.

그 이유는 일년생의 초본류와는 달리 연구의 대상으로 취급하기가 곤란할 뿐 아니라 실험을 수행하기 위한 시간과 경비 또한 훨씬 더 많이 요구되기 때문이다.

최근 우리나라는 급진적인 산업발전을 이룩하는 과정에서 불가피하게 다량의 공해 물질을 방출하여 생태계를 위협하게 되었다. 우리나라 전국토의 60% 이상을 점유하고 있는 산림을 보호하는 측면에서 영년수의 영양생리에 관한 기초연구는 절실한 것이며 한국 경제의 향상과 더불어 주곡에만 의존해 왔던 식생활 양식의 변화에 의한 과일의 급격한 수요 증가도 본 연구의 필요성을 뒷받침 하고 있다.

영년수를 잘 가꾸기 위해서는 무엇보다도 비배관리가 중요할 것이며 이에 따른 시비의 필요성과, 시비량 검토, 시비시기 결정 등의

기본과제가 선결되어야 한다. 따라서, 본 연구에서는 "인산성분"과 "감귤나무"를 표본으로 택하고 방사성 동위원소인 P-32를 추적자로 사용하여 영양진단 방법을 확립시키고 이 결과를 "질소 및加里성분"과 다른 과수나 산림수에 적용할 수 있는 기초자료로 제공하고자 한다.

회산회(Volcanic ash)로 이루어진 토양의 공통적 특징중의 하나는 인산의 강력한 고정능력이라 할 수 있으며 이에 따른 농경학적인 문제점은 세계적으로 널리 알려져 있다. 제주도 농경지의 상당량이 이와 같은 화산회 토양에 속하므로써 인산질비료시비 및 이용률 증진에 관해서 지금까지 적지 않은 연구가 이루어졌음에도 불구하고 감귤나무에 대한 인산비료 시비효과가 불투명하다(2,3,4).

따라서 농민들은 감귤나무의 인산영양상태에 관한 기준이 마련되어 있지 않은 이유로 무절제한 인산질 비료를 투여하고 있는 실정이다. 제주도의 경우 연간 사용되는 용성인 비량은 약 2만 M/T에 달하여 경지면적당 시비량으로는 타도에 비해 매우 높은 값을 보이고 있다(9). 따라서 작물에 이용되지 못한

채 손실됨으로써 불필요한 영농비 지출은 물론 나아가 막대한 자원과 에너지를 낭비하게 되는 결과를 초래하고, 경우에 따라서는 너무 적게 시비함으로써 수확량의 감소도 예상될 수 있다.

방사능 동위원소 P-32를 이용한 식물의 인산영양진단법은 영국의 Merlewood 연구소의 A. F. Harrison 박사가 1979년 부터 개발에 착수하여, 특히 인산 영양상태를 측정하기 곤란한 산림에 이 기술(5, 10, 11, 12, 13, 14, 26)을 도입시켜 좋은 성과를 거두게 되자 EEC(European economic council)에서는 이 방법을 회원국 산림의 인산영양진단에 이용코져 Merlewood 연구소와 연구용역을 1986년도에 체결하였고, 미국의 알라스카에서도 이 진단법을 시도하려고 하지만, 연구인력, 기자재 및 시설의 미흡으로 2~3년 후에나 실험단계에 들어갈 수 있으리라고 한다. 국내의 경우 본 기술을 이용하여 식물영양진단을 시도한 경우는 없었으나 1986년 10월 Harrison박사가 국제원자력기구(IAEA) 전문가로 본 연구소에 1개월간 파견되어 이 기술을 소개한 후 연구자는 감귤밭에서 뿌리를 채취하여 감귤의 인산영양진단을 위해서 이 방법의 이용 가능성을 검토 한 바 있었다.

국내에서는 과수의 현실적으로 나타나는 문제를 해석하는데 토양분석에만 의존해왔는데 그 결과로는 현실적으로 나타나는 문제를 해석하는데 큰 도움을 주지 못했다.

이처럼 연구결과가 효과적으로 활용될수 없었기 때문에 본 연구자는 식물양분의 생리적인 요구도에 근거한 P-32 bioassay법을

이용하여 감귤의 인산 영양진단법을 개발코져 이와 관련된 기초연구를 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 사경재배

#### 가. 공시재료의 재배

서귀포시 소재 "고길용"씨 농장으로 부터 구입된 홍진조생과 궁천조생 2년생을 석영모래를 담은 Pot에 5반복으로 심어 재배하였다. 이때 영양액은 Mori(19)의 과수 수경액을 기본하여 P의 수준만 0, 2.5, 5, 10, 20, 50, 100, 200 ppm으로 달리하여 3일 간격으로 공급하였다.

#### 나. P-32 bioassay

사경으로 재배된 감귤나무에서 세균을 채취하여 젖은 가아제로 잘 싼뒤 실험실로 옮겼다.

채취된 감귤뿌리 세균을 수돗물에서 뿌리 표면에 부착된 모래등을 잘 씻은후, 뿌리의 보관 또는 세척으로 인하여 약해진 원형질막의 안정성을 높이고, 자유공간내의 인을 제거키위해 Fig.1과 같이  $5 \times 10^{-4}$ M CaSO<sub>4</sub> 용액에 30분 동안 담갔다. 그런다음,  $5 \times 10^{-6}$ M KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>와 P-32(60 uCi)용액이 들어 있는 비이커로 옮겨 정확히 15분동안 P-32를 흡수시켰다. 그 후 뿌리 표면에 있는 P-32를 제거키 위해 흐르는 수돗물에서 정확히 5분간 뿌리를 세척하였다. 여기서 약 200mg 정도의 세균을 취해 증류수 15ml를 포함하는 계측병에 넣고 액체섬광계수기 (BF 8000, B

erthold)를 사용(Cerenkov effect)하여 방사능을 측정(측정치= $X_1$ )하였다. 그후 P-32를 흡수시킨 뿌리의 자유공간내에 들어 있는 P-32의 양(대사적으로 흡수되지 않는 양)을 산정 키 위해 상기 뿌리와 증류수를 함유한 계측병을 상온에서 12~16시간 방치시킨후 계측병속에 있는 뿌리를 편셋으로 꺼낸 뒤 다시 방사능을 측정(측정치= $X_2$ )하였다. 또한, 꺼낸 뿌리는 그 표면에 묻어 있는 수분을 흡수지로 제거한 뒤 생체중(생체중= $X_3$ )을 달았다. 한편, 뿌리에 흡수된 방사능을 측정하기 위해서는 매시료마다 산분해를 시켜야 되므로 시간, 노력, 시약의 소모가 뒤따른다. 따라서 상기방법은 뿌리를 분해시키지 않고 측정한 뒤 뿌리때문에 생기는 방사능의 소멸(physical quenching)을 보정하여 주므로써 실제 뿌리내에 흡수된 방사능 양을 알아내는 것이다. 즉 뿌리내에 흡수된 방사능양(DPM)과 biomass등이 다양한 범위에 들도록 평량된 뿌리를 취하여 켈달플라스크에 넣고 산분해( $H_2SO_4$ 와  $H_2O_2$ )시킨 후 이를 계측병에 옮겨 방사능을 측정(측정치= $Y_1$ )하였다. 그런다음, 뿌리를 산분해시킨 후 측정된 방사능의 양( $Y_1$ ), 뿌리를 분해시키지 않은 채 측정한 방사능의 양( $X_1-X_2$ ), 뿌리의 생체중( $X_3$ ), 뿌리의 생체중의 재공( $X_4$ )간에 다중회귀를 구하여 이를 보정하였다.

또한, 뿌리에 의해 대사적으로 흡수된 P양(amount of P uptake)은

$$= \frac{\text{대사적으로 흡수된 P-32양}(X_1-X_2) \times A}{\text{뿌리 생체중}(X_3)}$$

(단위 : pg p/mg root)

(여기서,  $A=155.000(\text{pg P})/\text{DPM in } 1\text{ml}$  of P-32 labelled solution)으로 나타내었다.

#### 다. 엽분석

뿌리에 의한 P-32 흡수력과 엽분석 결과를 비교하기 위해 엽을 9월에 채취하였다.

엽 표면에 묻은 불순물을 제거하기 위해 0.1% 중성세제로 잘 씻은 뒤 수돗물과 이온교환수로 각각 3회 헹구고 80°C로 조절된 건조기에서 24시간 말린 후 2mm 이하의 크기로 분쇄하여 화학분석을 실시하였다(16).

1) 시료의 분해 : 분해된 엽시료 0.3g을 취하여  $H_2SO_4-H_2O_2$ 법으로 분해시킨 뒤 최종 부피를 50ml로 맞추었다(21).

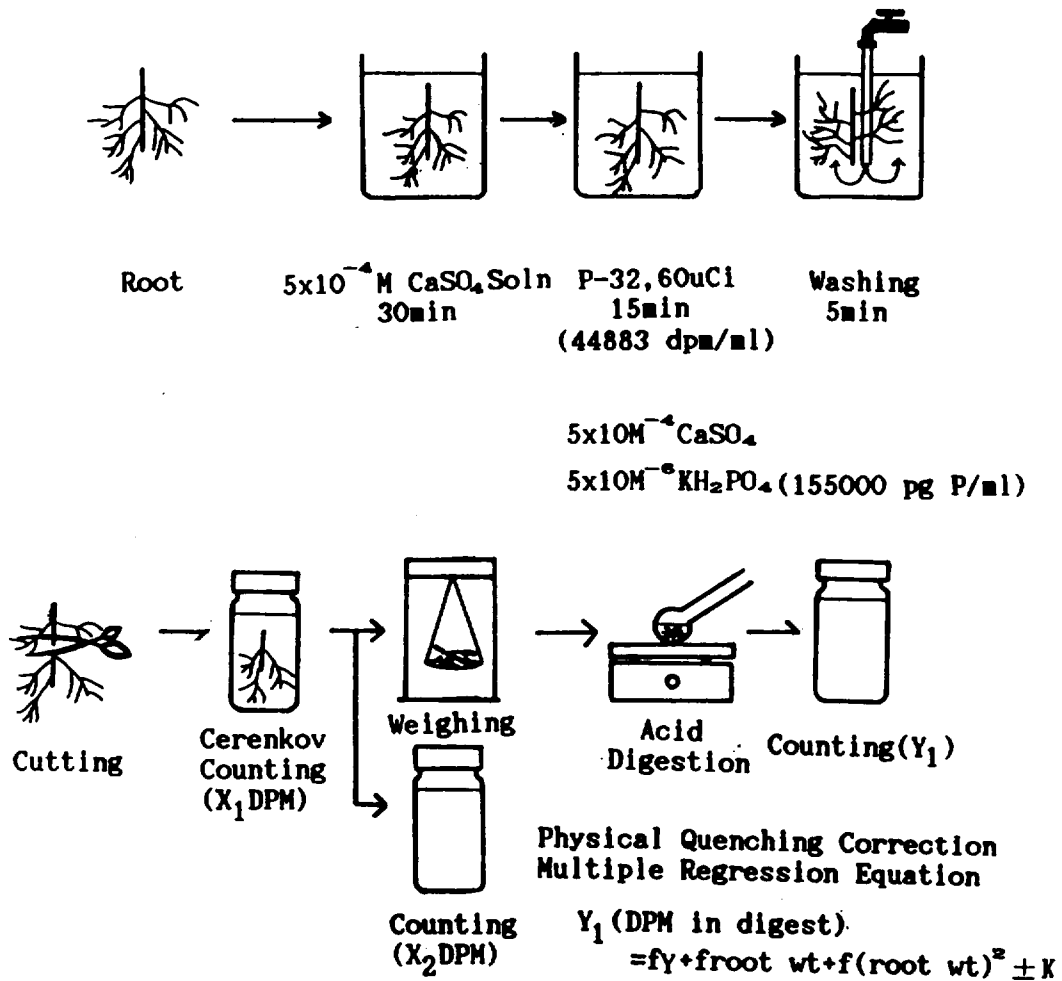
2) N분석 : 분해액을 25배로 희석시킨 뒤 Phenol-Nitroprusside용액 0.5ml, NaOH-Na hypochlorite 용액 0.5ml, 증류수 2ml를 차례로 가하여 발색 시킨뒤 625nm에서 OD를 측정하였다(27).

3) P분석 : 분해액을 ammonium molybdate법으로 발색시킨 뒤 420nm에서 OD를 측정하였다(16).

4) K, Mg, Ca, Mn, Zn 분석 : 분해액을 5배 희석하거나 직접사용하여 원자흡광 광도계(Perkin elmer, MD 2380)를 이용 분석하였다(16).

#### 라. 생육조사

인 공급 수준별로 감글나무의 생육조사(신초, 엽장, 엽폭, 간지의 길이)를 9월에 실시하였다(22).



Estimate of P-32 taken up (dpm, Y) → Estimated = (Estimated quench corrected P-32 act. × A) / Root wt (mg)  
 P-uptake (dpm in root)  
 $Y(\text{dpm}) = X_1 - X_2$

A : pg P/dpm of reaction soln.  
 [ex. A =  $155000(\text{pg P/ml}) / 44883(\text{dpm/ml}) = 3.45(\text{pg P/dpm})$ ]  
 UNIT : pg P mg root<sup>-1</sup> 15 min<sup>-1</sup>

Figure 1. Flowchart of P-32 bioassay

다. 통계처리

Bioassay에 의한 P-uptake, 엽분석 및 생육조사에 대한 분산분석과 Duncan's test는 통계용 package인 SAS를 이용하였다(24).

2. 토경재배

가. 공시재료의 재배

P-32 bioassay법의 기본기술을 확립하고, 암분진단법으로 현재까지 사용되고 있는 토양분석과 엽분석을 통해 얻어진 결과간의 상호관계를 알아보기 위해 토경재배를 실시하였다.

따라서 제주도의 감귤재배지역의 토양과 품종을 고려하여 흑색토양에는 궁천조생을 암갈색 토양에는 흥진조생을 나누어 심고 인산처리 수준별 5반복 난괴법으로 시험구를 배치하여 6개월간 재배 하였다(Table 1참조).

시험에 사용된 공시토양의 특성을 보면 Table 2와 같다.

유기물은 흑색토양이, 유효인산은 암갈색 토양이 높은편이었고, 치환성염기와 양이온 치환 용량은 흑색토양이 높은 값을 보였다.

나. P-32 bioassay

Pot 에서 품종과 인산 처리구 별로 뿌리를 채취하여 표면에 묻은 흙 등을 부드럽게 잘 씻은 뒤 P-32 bioassay를 실시하였다(1-나의 방법).

다. 엽분석

인산 처리구 별로 엽을 채취하여 1-나의 방법으로 N, P, K, Ca, Mg, Mn, Zn의

함량을 분석하였다(1-나의 방법).

라. 토양분석

P-32 bioassay, 엽분석 그리고 토양내 유효인산과의 관계를 알아보기 위해 P-32 bioassay을 실시할때 뿌리주변에 토양도 동시에 채취하였다.

그후, 음지에서 말린뒤 2mm체를 통과시켜 토양분석을 실시 하였다.

1) 유효기간 : 토양 1g을 Bray1(0.03N-NH<sub>4</sub>F+0.025N-HCl)용액 7ml를 가하여 30초간 진탕후 여과하여 SnCl<sub>2</sub>환원법으로 정량하였다(21).

2) 치환성 염기(Ca, Mg, K) : 토양 5g을 1N NH<sub>4</sub>OAC 용액 50ml를 가하여 30분간 진탕한 후 여과하여 원자흡광 광도계(Perkin elmer, Model 2380)로 측정하였다(1, 21).

3) CEC : 토양 2.5g을 Brown간이법으로 수소이온 농도를 구한 뒤 치환성 염기의 양을 합하여 CEC값으로 하였다(21).

4) OM : 토양 0.1g을 취하여 Walkly-black법으로 정량하였다(21).

마. 생육조사

사경재배에서처럼 9월에 신초의 길이, 엽장, 엽폭, 절간의 길이를 조사하였다(1-나의 방법).

바. 통계처리

Bioassay에 의한 P-uptake, 엽분석, 생육조사 그리고 토양분석에 대한 분산분석과 Duncan's test는 통계용 package인 SAS를 이용하였다(24).

Table 1. Fertilizer application for pot culture.

Cultivar	Soil	Application dose (kg/10a)																	
		Spring				Summer				Autumn									
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O							
Kung-Chun	Black	0																	
		8																	
		16	6.5	3.9		2.6		5.2		3.9									
		32																	
		65																	
		130																	
Hung-Jin	Dark Brown	0																	
		4																	
		8	6.5	2.4		2.6		3.2		3.9									
		16																	
		32																	
65																			
130																			

### 3. 야외포장실험

#### 가. 포장선정과 시비관리

P-32 bioassay 포장은 앞서 상술한 바와 같이 감귤재배 지역의 토양과 품종을 고려하여 선정하였는데, 흑색토양이 분포되어 있는 제주 남부지역(서귀포시, 남원등)의 경우 이미 1960대 중반 이후부터 많이 식재된 궁천 조생은주에 대해 수령(10년, 20년), 표고(100m이상, 100m이하)별로 총 5개의 포장을 선정하였다(Table 3).

한편, 북부의 암갈색 토양에서는 홍진조생이 많이 재배되고 있고 재배년수도 남부지역에 비해 짧은 편이다. 따라서 10년생 홍진조생을 표고(100m이상, 이하)별로 선정하였다.

또한, 이들 각포장에 대한 인산처리 내용은 Table 4와 같이 3반복 난괴법으로 시험구를 배치하였다.

또한 이들 선정된 포장의 화학적 특성을 살펴보면(Table 5참조) 유효인산 함량은 포장마다 차이가 컸으며 흑색토양은 10.5~94.2ppm, 암갈색 토양은 26.1~94.2ppm이었다.

유기물함량은 암갈색토양보다 흑색토양이 2배정도 높았으며 치환성 염기와 CEC도 흑색토양이 높게 나타났다.

#### 나. P-32 bioassay

P-32 bioassay는 계절별(5, 7, 9월)로 나누어 실시하였다(1-나의 방법).

#### 다. 엽분석

P-32 bioassay시기에 맞추어 5, 7, 9월에

걸쳐 엽을 채취한뒤 사경제배에서와 같이 N, P, K, Ca, Mg, Mn, Zn을 분석하였다(1-나의 방법).

#### 라. 토양분석

5, 7, 9월에 P-32 bioassay를 하기위해 뿌리를 채취할때 주변 토양을 함께 채취하여 토양분석을 실시하였다(2-라의 방법).

#### 마. 생육조사

각 포장의 인산처리 수준별로 감귤나무의 생육조사를 6월에 실시하였으며 현지포장에서 직접 30cm자로 측정하였다(1-라의 방법).

#### 바. 통계처리

Bioassay에 의한 P-uptake, 엽분석, 생육조사 그리고 토양분석에 대한 분산분석과 Duncan's test는 통계용 package인 SAS를 이용하였다(24).

### 4. 감귤나무의 근활력 분포 조사

#### 가. P-32 처리

토양 깊이 또는 수체중심으로 부터의 거리별로 감귤나무의 근활력 분포를 조사하기 위해 500 ppm P(KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)을 carrier로 함유한 P-32용액 10ml(총 100uci)를 플라스틱주사기에 취하여 일정거리와 깊이에 주입하였다(15).

20일이 경과 된 후에 수체의 지상부를 2개 부분으로 나누어 즉 상부와 하부에 달린 싹을 처리구별로 각각 50여개를 채취하여 80℃ 건조기에서 24시간 말리고 이를 잘게 부수어 도가니에 넣은 후 MgNO<sub>3</sub>용액을 25ml가 하여 100~110℃에서 건조시킨 뒤 550℃에서



Table 2. Chemical properties of soil used for the pot experiment.

Soil	OM (%)	Exch. cations (me/100g)			CEC (me/mg)	Avail. P (ppm)
		K	Mg	Ca		
Dark brown	2.8	0.48	1.35	3.99	12.4	168
Black	12.2	1.01	0.16	6.83	19.0	20.0

Table 3. Specification of experimental fields.

Field code	Location	Soil type	Cultivar	Tree age (years)	Altitude (m)
K-10-80	Donghong-dong Sogwipo-shi	Black	Kung-Chun	10	80
K-10-75	Sinrye-ri Namwon-up Namcheju-gun	"	"	10	75
K-10-160	Sinrye-ri Namwon-up Namcheju-gun	"	"	10	160
K-20-90	Topyung-dong Sogwipo-shi	"	"	20	90
K-20-160	Sinrye-ri Namwon-up Namcheju-gun	"	"	20	160
H-10-50	Chochun-ri Chochun-up Bukcheju-gun	Dark brown	Hung-Jin	10	50
H-10-230	Ara-dong Cheju-shi	"	"	10	230

Table 4. Fertilizer application for the field experiments.

Field code	Application dose (kg/10 a)								
	Spring			Summer			Autumn		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
K-10-80		0							
		14							
	9	28	5.4	3.6		7.2	5.4		5.4
		42							
		72							
K-10-160		140							
		0							
		20							
	14	40	8.4	5.6		11.2	8.4		8.4
		60							
K-20-16		120							
		200							
		0							
		9							
	7.5	18	3.6	3		4.8	4.5		3.6
H-10-50		36							
		50							
		100							

Table 5. Characteristics of soils used for the field experiment.

Field code	Soil	OM (%)	Exch. cations (me/100 g)			CEC (me/mg)	Avail. P (ppm)
			K	Mg	Ca		
K-10-80	Black	14.2	0.67	0.48	1.85	16.7	10.5
K-10-75	"	13.1	1.49	1.59	7.15	21.7	41.2
K-10-160	"	13.7	1.10	1.10	1.60	19.5	73.3
K-20-90	"	16.1	0.70	0.32	1.85	19.3	36.7
K-20-160	"	11.4	1.34	1.32	3.75	19.2	94.2
H-10-50	Dark brown	7.54	0.91	0.97	3.20	16.1	94.2
H-10-160	"	7.54	0.66	0.74	1.45	16.1	26.1

5~7시간 회화 시켰다.

그후 소량의 중류수로 재(Ash)를 측인후  $\text{HNO}_3(1:2)$ 용액 10ml를 가하여 약간 가열하므로써 P의 용출을 극대화 시켰으며, Toyo No. 5B여과지를 이용 그 여액이 최종 100ml가 되도록 여과 하였다.

그후 5% ammonium molybdate와 ammonium nitrate를 함께 혼합하여 만든 용액 100ml를 여액전량(100ml)과 혼합하여 60°C의 water bath에서 30분동안 반응시켜 ammonium phospho-molybdate침전을 유도 시켰다(17).

그후, 원심 분리하여 ammonium phospho-molybdate 침전물을 얻었으며 여기에  $\text{NH}_4\text{OH}(1:5)$ 를 가하여 그 침전물을 녹인뒤 이를 다시 계측병에 옮겨 liquid scintillation counter로 방사선을 측정하였다.

#### 나. 토양깊이와 수관으로부터의 거리별 분포된 세근의 P-32 흡수력 조사

흑색과 암갈색토양에서 토양깊이와 수체중심으로 부터의 거리별 세근의 분포 특징과 P-32 흡수력을 조사하고자 조생은주 10년생 나무를 선정하여 수체중심에서 수관까지 거리를 기준으로 하여 이를 이등분한 지점과 1.5배의 지점에 대해 토양 깊이별로 즉 0~5cm, 5~10cm, 10~15cm, 15~20cm, 25~30cm범위에 있는 뿌리를 토양시료 채취용 core(2cmx 5cm Dia. x Heig.)로 채취하여 core내에 있는 세근수의 무게를 달고 이를 앞서 서술한 P-32 bioassay 방법(1-나의 방법)대로 P-32 흡수력을 조사하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. P-32 bioassay 실험조건 검토

Harrison 등에 의해 개발된 P-32 bioassay 법을 감귤나무의 영양진단에 도입하고자 사경에서 재배된 조생은주 뿌리를 이용하여 몇 가지 bioassay 실험조건 (P-32표지용액의 적정 carrier 농도, 대사 저해제의 영향, 채취후 뿌리 보관 방법)을 검토 하였다.

Table 6은 배양액의 농도를 0과 50ppm으로 각각 달리해서 생육시킨 감귤뿌리를 채취한 뒤 P-32 carrier로  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 를 0.1μM에서 100μM까지 6수준으로 조절하여 만든 P-32 용액으로 부터 15분간 감귤뿌리가 흡수한 P-32 양을 나타낸다.

Table 6에서 보는 바와 같이 농도가 높아짐에 따라 인 흡수량이 증가되고 있으나 10 μM이상에서는 인이 결재된 뿌리의 인흡수능과 50ppm이 공급된 뿌리의 인 흡수능간의 비가 점차 적어지는 것으로 보아 P-32 용액의 적정 carrier농도는 10μM 정도로 선정하는 것이 좋다고 생각된다.

한편, P-32 bioassay법은 식물의 생리대사적 요구에 의해 흡수되는 양을 산정하는 것이다.

Bioassay실험을 할때 절단근을 사용하기 때문에 뿌리 채취시 잘린부위등으로 수동적으로 흡수되는 양도 적지 않으리라 생각되어 대사 저해제인 KCN을 처리하여 비 대사적으로 흡수되는 양을 알아보았다.

Table 7에서 보는바와 같이 KCN을 처리했을 때 절단근에 의해 15분동안 흡수되는 인의 양은 KCN 무처리구의 8%에 불과하는 적은 양이었다. 따라서 P-32 bioassay는 능동적으로 흡수한 것만은 고려하는 방법임을 입증하는 것이다.

또한, 본 P-32 bioassay법은 포장에서 뿌리를 채취하여 실험실로 운반한뒤 수행하는 것이므로, 보관시 뿌리의 활성을 가능한 높게 유지하는 것이 bioassay 실험에 매우 중요한 사항중의 하나이다.

따라서 근활성을 유지시키는 방안으로 calcium처리 효과(8)와 시료 보관 온도(저온, 실온)에 대해 검토하였다.

Table 8에서 보는 바와 같이 저온(4~6°C) 보관의 경우는 실온에서 보관한 뿌리의 인 흡수능보다 적은량이 흡수되었다. 그러나 뿌리 보관시 calcium처리 효과는 관찰되지 않았다.

따라서 저온 보관은 뿌리의 활성을 감퇴시키므로 실온에 보관하는 것이 효과적임을 알 수 있었으며, Ca용액 처리는 본 실험 조건에서는 근활력 유지를 위해서 필수적이지 않음을 알 수 있었다.

## 2. 수경재배

### 가. P-32 bioassay

일반적으로 작물에 대한 영양생리를 연구하는 데 가장 적극적인 수단으로 수경이나 사경 재배법을 많이 이용하고 있다.

본 연구에서도 감귤의 인산성분에 대한 양분 요구도를 파악하고자 사경재배를 실시하

였다.

Fig. 2와 Table 9의 P-32 bioassay결과를 보면 인공급이 증가함에 따라 궁천조생과 홍진조생의 인흡수능은 지수적인 역상관(궁천조생  $R^2=68.1\%$ , 홍진조생  $R^2=73.8\%$ )을 보였다.

또한, 두 품종간의 인흡수능에는 차이를 보이지 않았다(Table 9, 11).

한편, 인 공급량이 20ppm 이상일때는 인 흡수능도 포화에 이르고 있었다(Fig. 3).

이는 Harrison등의 실험에서 *Betula verrucosa*, *Pinus contorta*등은 인 공급량이 20ppm 이상이 되면 인흡수능이 포화된다는 보고(14)와도 일치하였다.

### 나. 엽분석

궁천조생의 경우 인공급수준 별로 뚜렷한 경향을 나타내지 않았으나, 홍진조생은 인공급이 증가함에 따라 잎의 인함량도 증가되는 경향을 보였다(Table 9).

한편, N, K, Mg, Ca, Mn, Zn등의 함량도 인공급 수준별로 일정한 경향을 나타내지 않았으며, 특히 인과의 길항작용을 나타내는 N, Zn 등의 함량에도 영향을 주지 않았다(Table 9).

### 다. 생육조사

신초의 생장, 엽장, 엽폭, 절간 길이도 인공급 수준별로 일정한 경향을 보이지 않았다. 그러나 궁천보다 홍진조생의 생육이 다소 양호함을 보였다(Table 10, 11).

이상의 사경재배 결과에서 보듯이 인공급 수준이 증가함에 따라 감귤의 생육에 어떤

Table 6. Effect of P carrier concentration on P-uptake by the excised roots of citrus tree.

Concentration of carrier	P uptake ( pg P/mg root )	
	0 ppm	50 ppm
0.1 uM	410 ± 132	162 ± 12 <sup>#</sup>
1 uM	939 ± 297	277 ± 59
5 uM	1446 ± 278	810 ± 143
10 uM	2156 ± 455	1356 ± 198
20 uM	2151 ± 137	1624 ± 290
100 uM	5769 ± 383	2826 ± 1136

# ; mean ± SD

Table 7. Effect of KCN on the P-uptake by the excised roots of sand-cultured citrus tree. The P concentration level of the culture solution was 10 ppm, and the uptake time was 15 min.

Treatment		P uptake ( pg P/me root )
No	KCN	342 ± 95 <sup>#</sup>
10 <sup>-3</sup> M	KCN	44 ± 4.0

# ; mean ± SD

Table 8. P-uptake by the excised root of citrus tree under the different keeping conditions.

Treatment			P-uptake ( pg P/mg root )		
			0 ppm	10 ppm	50 ppm
Low temp	No	Ca	377 ± 42.8	313 ± 124	505 ± 112 <sup>#</sup>
		Ca	402 ± 136	468 ± 186	223 ± 92.8
Room temp	No	Ca	513 ± 226	572 ± 45.1	396 ± 158
		Ca	558 ± 193	432 ± 29.8	350 ± 87.4

# ; mean ± SD

Table 9. P-uptake of bioassay and mineral contents in leaves of the sand-cultured 'Kung-Chun and Hung-Jin' at the different P levels.

Culti- vars	P concentration (ppm)	P-uptake ( $\mu\text{g P/mg}$ $\bar{x}$ (s.d.))	Mineral contents						
			N(%)	P(%)	K(%)	Mg(%)	Ca(%)	Mn(ppm)	Zn(ppm)
Kung- Chun	0	449 $\pm$ 23.6	0.49 $\pm$ 0.12	0.15 $\pm$ 0.17	0.73 $\pm$ 0.13	0.17 $\pm$ 0.02	1.32 $\pm$ 0.21	32.6 $\pm$ 7.30	35.8 $\pm$ 4.60 <sup>#</sup>
	2.5	335 $\pm$ 81.8	0.88 $\pm$ 0.10	0.19 $\pm$ 0.10	0.74 $\pm$ 0.09	0.19 $\pm$ 0.08	0.90 $\pm$ 0.23	41.4 $\pm$ 7.02	34.4 $\pm$ 2.97
	5	316 $\pm$ 139	1.01 $\pm$ 0.21	0.24 $\pm$ 0.17	0.75 $\pm$ 0.05	0.16 $\pm$ 0.01	1.19 $\pm$ 0.09	38.6 $\pm$ 6.66	31.6 $\pm$ 6.11
	10	308 $\pm$ 84.7	1.10 $\pm$ 0.26	0.14 $\pm$ 0.05	0.66 $\pm$ 0.07	0.16 $\pm$ 0.01	1.17 $\pm$ 0.11	38.2 $\pm$ 8.66	31.5 $\pm$ 1.22
Hung- Jin	20	296 $\pm$ 88.3	0.76 $\pm$ 0.42	0.16 $\pm$ 0.02	0.71 $\pm$ 0.05	0.19 $\pm$ 0.02	1.11 $\pm$ 0.15	37.0 $\pm$ 1.73	31.0 $\pm$ 3.61
	50	283 $\pm$ 117	1.14 $\pm$ 0.30	0.20 $\pm$ 0.12	0.68 $\pm$ 0.08	0.18 $\pm$ 0.02	1.11 $\pm$ 0.15	51.2 $\pm$ 8.39	33.0 $\pm$ 2.68
	100	207 $\pm$ 86.6	0.92 $\pm$ 0.22	0.14 $\pm$ 0.05	0.54 $\pm$ 0.10	0.16 $\pm$ 0.02	0.98 $\pm$ 0.28	41.2 $\pm$ 8.11	44.49 $\pm$ 3.81
	0	356 $\pm$ 78.0	0.99 $\pm$ 0.12	0.14 $\pm$ 0.07	0.72 $\pm$ 0.11	0.12 $\pm$ 0.04	1.59 $\pm$ 0.10	30.0 $\pm$ 3.25	27.0 $\pm$ 2.00
Hung- Jin	2.5	315 $\pm$ 123	1.04 $\pm$ 0.13	0.22 $\pm$ 0.09	0.60 $\pm$ 0.07	0.15 $\pm$ 0.02	1.35 $\pm$ 0.07	36.0 $\pm$ 3.81	48.2 $\pm$ 2.92
	5	304 $\pm$ 57.5	0.73 $\pm$ 0.16	0.19 $\pm$ 0.03	0.56 $\pm$ 0.19	0.15 $\pm$ 0.02	1.23 $\pm$ 0.23	38.3 $\pm$ 8.88	30.8 $\pm$ 6.50
	10	272 $\pm$ 60.5	0.56 $\pm$ 0.18	0.23 $\pm$ 0.07	0.64 $\pm$ 0.09	0.13 $\pm$ 0.02	1.16 $\pm$ 0.25	37.0 $\pm$ 9.62	28.6 $\pm$ 1.95
	20	265 $\pm$ 122	0.79 $\pm$ 0.16	0.34 $\pm$ 0.10	0.71 $\pm$ 0.08	0.15 $\pm$ 0.02	1.27 $\pm$ 0.09	35.4 $\pm$ 7.92	40.2 $\pm$ 2.05
Hung- Jin	50	258 $\pm$ 35.4	0.48 $\pm$ 0.16	0.41 $\pm$ 0.14	0.72 $\pm$ 0.07	0.14 $\pm$ 0.01	1.31 $\pm$ 0.08	26.2 $\pm$ 5.12	31.8 $\pm$ 2.05
	100	245 $\pm$ 116	0.87 $\pm$ 0.20	0.35 $\pm$ 0.19	0.75 $\pm$ 0.07	0.14 $\pm$ 0.02	1.30 $\pm$ 0.12	36.0 $\pm$ 7.52	31.8 $\pm$ 1.10

# : mean  $\pm$  SD

Table 10. Effect of P levels of culture solution on the growth status of the sand-cultured Kung-Chun and Hung-Jin.

Cultivars	P concentrations (ppm)	Branch length (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Node length (cm)
Kung-Chun	0	6.45 ± 1.15	5.22 ± 1.02	2.25 ± 0.29	1.34 ± 0.34 <sup>#</sup>
	2.5	5.51 ± 1.28	5.31 ± 0.64	2.12 ± 0.17	1.24 ± 0.24
	5	7.37 ± 3.71	5.25 ± 0.48	2.30 ± 0.36	1.33 ± 0.62
	10	9.39 ± 5.36	5.08 ± 0.61	2.31 ± 0.34	1.25 ± 0.21
	20	13.4 ± 5.03	5.88 ± 0.64	2.44 ± 0.22	0.95 ± 0.39
	50	5.51 ± 1.62	4.90 ± 0.75	2.18 ± 0.17	1.16 ± 0.27
	100	11.0 ± 1.62	5.55 ± 0.53	2.37 ± 0.28	1.35 ± 0.20
Hung-Jin	0	9.50 ± 2.89	5.52 ± 0.64	2.51 ± 0.36	1.37 ± 0.43
	2.5	10.6 ± 1.51	5.82 ± 0.58	2.89 ± 0.25	1.47 ± 0.32
	5	14.7 ± 5.02	5.84 ± 0.53	2.66 ± 0.22	1.54 ± 0.36
	10	10.5 ± 2.72	5.93 ± 0.65	2.58 ± 0.36	1.41 ± 0.29
	20	11.2 ± 2.43	6.01 ± 0.62	2.84 ± 0.59	1.45 ± 0.27
	50	9.97 ± 2.06	5.64 ± 0.33	2.36 ± 0.24	1.55 ± 0.80
	100	9.42 ± 1.73	5.81 ± 0.39	2.55 ± 0.15	1.44 ± 0.30

# ; mean ± SD

Table 11. Comparison of P uptake of bioassay, mineral contents in leaves and growth between the sand-cultured citrus cultivars.

Cultivar	P-uptake	Mineral contents in leaves								Tree growth			
		N (%)	P (%)	K (%)	Mg (%)	Ca (%)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	Branch length (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Node length (cm)	
Hung-Jin	288	0.75	0.29	0.67	0.14	1.27	34.5	35.1	10.8	5.80	2.63	1.46	
		^	v		^	v	^		v	v	v	v	
Kung-Cham	313	0.92	0.20	0.68	0.17	1.11	40.5	34.6	8.37	5.31	2.28	1.23	

> or < : Significant in Duncan's multiple range test at 5 % level.

= : Not significant in Duncan's multiple range test at 5 % level.



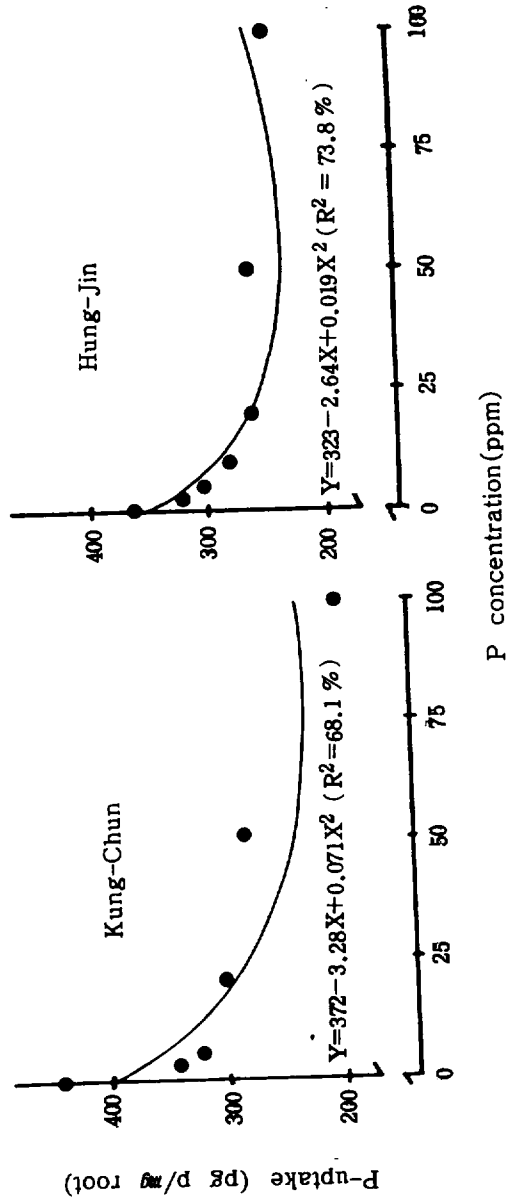


Figure 2. Relationship between P-uptake of bioassay and P supplied in the sand culture for the citrivars cultivars.

영향을 주지 않았다는 점은 질소나 가리에 비해 인산은 시비반응이 적음을 알수있다(29).

### 3. 토경재배

#### 1) P-32 bioassay

사경재배의 경우처럼 궁천조생과 흥진조생에서 채취한 뿌리의 P-32흡수능은 인산시비량과 지수적인 역상관을 보였다(Fig. 3, Table 12).

궁천조생의 경우 인 흡수량은 시비량이 32 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/10a을 기점으로 포화되고 있으나, 흥진조생은 10kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/10a 부터였다.

Pot 재배시 사용된 토양의 유효 인산양을 비교해 볼 때 흥진조생이 식재된 암갈색 토양(인산고정력이 적은)은 177ppm였고, 궁천조생이 식재된 흑색토양(인산고정력이 큰)은 24ppm으로 약 7배정도 높은 값이다(Table 13, 15).

따라서 앞서 사경재배시 궁천조생과 흥진조생간에 인흡수능에 차이가 없었음을 감안할때 흥진조생의 인흡수량이 일찍 포화된 이유는 토양내 유효인산 함량이 높은것에 기인했다고 사료된다.

토양중 유효인산이 적은 흑색토양의 궁천조생의 경우 엽중 인 농도는 인산시비량이 증가함에 따라 높아졌으나 유효인산 함량이 많은 암갈색토양에 식재된 흥진조생의 경우 일정한 경향을 보이지 않았다(Table 12, 13, 15).

한편, Koo등도 엽중 인농도는 토양중의 인산농도가 높을 때 엽중 인 함량과 상관성이 적다고 보고(18) 한 바 있다.

이러한 사실을 감안할 때 P-32 bioassay 법은 기존의 엽분석법 등과는 달리 식물양분 흡수력을 직접 측정하는 것이므로 좀더 예민한 양분 진단법이 되리라 생각된다.

#### 2) 엽분석

N, K, Mg, Ca, Mn, Zn 등의 엽중 함량은 사경재배에서 같이 일정한 경향을 나타내지 않았다(Table 12).

#### 3) 토양분석

Table 13에서 보는 바와 같이 토양중의 유기물함량과 양이온 치환용량은 갈색토양보다는 흑색토양이 높은 경향이었고, 인산시비수준이 증가함에 따라 일정한 경향을 보이지 않았다.

또한, 치환성 Ca과 Mg함량도 시비수준이 증가함에 따라 높아지고 있는데 이는 Ca, Mg 함량이 높은 용성인비의 시비에 기인된 것이라 생각된다(28).

#### 4) 생육조사

Table 14, 15에서 보는바와 같이 신초의 길이, 엽장, 엽폭, 절간길이의 생장은 사경재배의 결과에서 처럼 흥진조생이 궁천조생보다 더욱 양호 하였으나, 인산 공급 수준이 높아짐에 따라 일정한 경향을 보이지 않았다.

## 4. 야외포장실험

### 가. 궁천조생

#### 1) P-32 bioassay

제주 남부지역에서 재배되는 궁천조생의 P-32 bioassay 결과를 보면 Table 16과 같다. 5월의 bioassay 결과는 시비수준에 따라

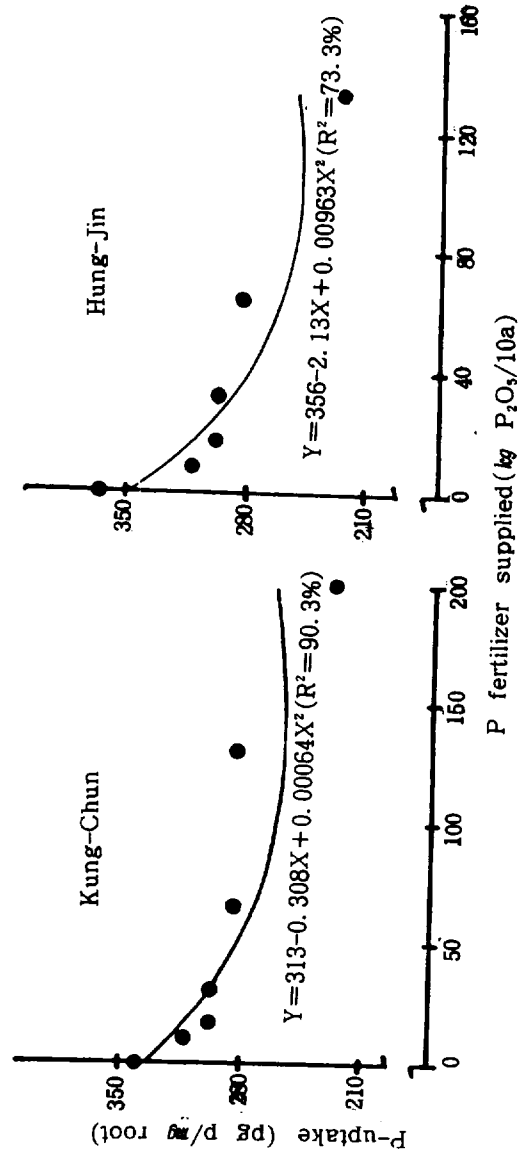


Figure 3. Relationship between P-uptake bioassay and P-fertilizer supplied in the pot culture for the citrus cultivars.

Table 12. P-uptake of bioassay and mineral contents in leaves of the pot-cultured 'Kung-Chun and Hung-Jin' under the different P fertilization.

Culti- vars	Fertilizer added ( $P_2O_5$ kg/10 a)	P-uptake ( $\mu$ g P/mg root)	Mineral contents						
			N(%)	P(%)	K(%)	Mg(%)	Ca(%)	Mn(ppm)	Zn(ppm)
Kung- Chun	0	329 ± 177	0.74 ± 0.42	0.11 ± 0.07	0.59 ± 0.28	0.18 ± 0.08	1.64 ± 0.92	35.8 ± 8.50	27.4 ± 11.3 <sup>#</sup>
	8	310 ± 79	0.59 ± 0.31	0.14 ± 0.07	0.67 ± 0.19	0.53 ± 0.07	1.01 ± 0.55	48.0 ± 8.63	30.0 ± 10.3
	16	297 ± 98	0.73 ± 0.33	0.18 ± 0.08	0.90 ± 0.22	0.25 ± 0.07	0.89 ± 0.36	49.0 ± 7.87	32.6 ± 4.83
	32	293 ± 113	0.90 ± 0.14	0.28 ± 0.14	0.77 ± 0.10	0.26 ± 0.03	1.02 ± 0.18	40.0 ± 3.74	31.6 ± 1.52
	65	286 ± 101	0.73 ± 0.11	0.13 ± 0.03	0.70 ± 0.16	0.28 ± 0.05	1.17 ± 0.44	52.8 ± 3.78	34.4 ± 1.95
Hung- Jin	130	275 ± 113	0.71 ± 0.11	0.29 ± 0.15	0.79 ± 0.07	0.31 ± 0.03	0.94 ± 0.11	47.4 ± 12.5	32.6 ± 2.51
	200	221 ± 139	1.10 ± 0.17	0.40 ± 0.23	0.79 ± 0.03	0.32 ± 0.03	0.75 ± 0.14	44.8 ± 6.91	45.4 ± 21.4
	0	388 ± 184	0.92 ± 0.12	0.20 ± 0.01	0.66 ± 0.08	0.23 ± 0.02	1.19 ± 0.09	42.6 ± 3.36	30.6 ± 19.5
	4	369 ± 159	0.90 ± 0.11	0.29 ± 0.17	0.70 ± 0.12	0.23 ± 0.03	1.21 ± 0.17	47.6 ± 9.13	63.4 ± 20.6
	8	304 ± 111	0.90 ± 0.11	0.17 ± 0.01	0.53 ± 0.18	0.23 ± 0.01	1.07 ± 0.02	56.4 ± 5.59	115 ± 49.7
	16	296 ± 190	0.78 ± 0.09	0.23 ± 0.05	0.58 ± 0.16	0.27 ± 0.02	1.22 ± 0.08	51.4 ± 1.34	104 ± 38.0
	32	287 ± 145	0.75 ± 0.09	0.21 ± 0.03	0.72 ± 0.13	0.27 ± 0.02	1.09 ± 0.05	48.6 ± 8.62	102 ± 61.7
	65	284 ± 91	0.82 ± 0.23	0.23 ± 0.10	0.59 ± 0.27	0.26 ± 0.02	0.98 ± 0.08	42.4 ± 9.23	110 ± 26.8
	130	237 ± 149	0.98 ± 0.10	0.19 ± 0.05	0.65 ± 0.11	0.29 ± 0.02	1.08 ± 0.11	41.4 ± 9.32	55.2 ± 10.6

# : mean ± SD

Table 13. Chemical analysis of soils after the citrus cultivars were grown in the pot at the different P-fertilization.

Cultivars and soils	Fertilizer added ( $P_2O_5$ kg/10a)	Soil analysis						
		OM (%)	Avail. P (ppm)	Exchangeable bases (me/100g)			CEC (me/100g)	
				K	Mg	Ca		
Kung-Chum, Black	0	12.0 ± 1.13	20.2 ± 0.45	0.40 ± 0.03	0.21 ± 0.07	4.18 ± 0.16	20.9 ± 1.12 <sup>#</sup>	
	8	11.9 ± 1.27	21.4 ± 1.14	0.41 ± 0.05	0.34 ± 0.10	3.25 ± 0.22	19.0 ± 0.50	
	16	11.3 ± 1.01	21.4 ± 1.14	0.61 ± 0.10	0.19 ± 0.05	4.22 ± 0.43	17.7 ± 2.03	
	32	12.9 ± 0.28	21.6 ± 2.61	1.04 ± 0.10	0.24 ± 0.06	6.11 ± 0.42	20.1 ± 1.19	
	65	12.9 ± 0.42	24.2 ± 1.64	1.67 ± 0.17	0.28 ± 0.08	8.30 ± 0.70	22.1 ± 1.69	
	130	12.3 ± 0.77	27.8 ± 2.95	2.18 ± 0.10	0.33 ± 0.16	8.97 ± 1.71	23.2 ± 2.01	
200	12.1 ± 0.44	31.8 ± 5.54	3.59 ± 0.18	0.33 ± 0.12	11.4 ± 0.41	25.6 ± 0.26		
Hung-Jin, Dark brown	0	2.68 ± 0.12	117 ± 23.8	0.94 ± 0.14	0.47 ± 0.09	3.78 ± 0.23	15.4 ± 1.37	
	4	3.12 ± 0.30	123 ± 14.9	1.18 ± 0.09	0.45 ± 0.11	3.13 ± 1.79	15.1 ± 3.20	
	8	3.05 ± 0.32	131 ± 10.6	1.22 ± 0.10	0.37 ± 0.11	3.95 ± 0.22	13.9 ± 0.55	
	16	3.18 ± 0.17	144 ± 8.26	1.39 ± 0.14	0.57 ± 0.16	1.43 ± 0.19	14.0 ± 0.58	
	32	3.18 ± 0.26	195 ± 55.6	1.44 ± 0.12	0.47 ± 0.27	4.32 ± 0.28	13.5 ± 0.58	
	65	3.15 ± 0.36	229 ± 16.3	1.77 ± 0.16	0.59 ± 0.22	4.98 ± 0.37	14.3 ± 0.77	
130	2.58 ± 0.62	300 ± 15.6	2.76 ± 0.24	0.53 ± 0.12	6.24 ± 0.16	14.6 ± 0.69		

#; mean ± SD

Table 14. Effect of P application rates on the growth status of the pot-cultured Kung-Chun and Hung-Jin.

Cultivars	Fertilizer added (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg/10a)	Branch length (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Node length (cm)
Kung-Chun	0	7.92 ± 1.52	5.23 ± 0.34	2.39 ± 0.39	1.25 ± 0.35 <sup>#</sup>
	8	8.97 ± 2.41	5.70 ± 0.45	2.37 ± 0.36	1.30 ± 0.14
	16	8.92 ± 1.04	5.04 ± 0.49	2.36 ± 0.18	1.86 ± 0.34
	32	10.3 ± 5.33	5.09 ± 0.87	2.39 ± 0.26	1.30 ± 0.28
	65	11.7 ± 4.93	6.11 ± 0.78	2.41 ± 0.31	1.32 ± 0.25
	130	8.91 ± 1.27	5.64 ± 0.80	1.94 ± 0.52	1.39 ± 0.24
	200	10.5 ± 6.84	5.48 ± 0.88	2.34 ± 0.36	1.86 ± 0.26
Hung-Jin	0	12.3 ± 1.58	6.16 ± 0.67	2.60 ± 0.31	1.38 ± 0.34
	4	13.7 ± 3.81	6.09 ± 0.31	2.60 ± 0.23	1.43 ± 0.39
	8	11.5 ± 2.71	5.81 ± 0.37	2.67 ± 0.31	1.34 ± 0.22
	16	12.9 ± 1.53	5.84 ± 0.39	2.60 ± 0.12	1.34 ± 0.28
	32	11.5 ± 1.85	6.12 ± 0.40	2.74 ± 0.19	1.75 ± 0.41
	65	10.3 ± 1.15	5.91 ± 0.31	2.56 ± 0.13	1.44 ± 0.26
	130	11.5 ± 1.91	5.85 ± 0.76	2.47 ± 0.40	1.43 ± 0.22

#; mean ± SD

Table 15. Comparison of P-uptake of bioassay, mineral contents in leaves, and growth between the pot-cultured cultivars, and of the chemical properties of each soil.

Cultivar	P-uptake	Mineral contents in leaves										Soil fertility			
		N (%)	P (%)	K (%)	Mg (%)	Ca (%)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	OM (%)	Avail. P (ppm)	Exch. bases (me/100g)			CEC (me/100g)	
											K	Mg	Ca		
Hung-Jin	309	0.87	0.22	0.63	0.30	1.12	47.2	82.7	1.77	2.99	1.53	0.49	4.40	14.4	
				^				>	>	>		>	>	>	
Kung-Chun	284	0.79	0.22	0.74	0.25	1.06	45.4	33.4	24.1	12.2	1.42	0.27	6.64	21.4	

Cultivar	Branch length (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Node length (cm)
Hung-Jin	12.0	5.97	2.60	1.44
	>	>	>	
Kung-Chun	9.35	5.45	2.31	1.48

&gt; or &lt; ; Significant in Duncan's multiple range test at 5% level.

= ; Not significant in Duncan's multiple range test at 5% level.

포장별로 일정한 경향을 보이지 않았지만, 7월과 9월의 경우 5개포장 모두에서 시비수준이 증가함에 따라 P-32 흡수능이 감소되는 경향이였다. 즉 포장별로 나누어 살펴보면 10년생 감귤나무 경우 해발 80m에 위치한 포장 K-10-80은 5월에 1259-1074pgP/mg root 범위로 증감이 보이지 않았으나 5월에 629-497 pgP/mg root, 9월에 541-506 pgP/mg root순으로 각각 시비량이 증가함에 따라 뿌리에 의한 인산흡수능이 감소되는 경향이 있다.

또한, 같은 수령의 해발이 비슷한 지역에 위치한 포장 K-10-75의 경우 뿌리에 의한 인산 흡수능은 5월에 760-499 pgP/mg root 7월에 453-392 pgP/mg root, 9월에는 396-312 pgP/mg root 순으로 포장 K-10-80과 비슷하였다.

한편, 해발 160m에 위치한 포장 K-10-160의 경우도 5월에는 845-612 pgP/mg root 범위를 보여, 시비 수준별에 따른 증감이 없었으나, 7월에 520-458 pgP/mg root, 9월에는 340-263 pgP/mg root 순으로 약간 줄어드는 경향이였다.

한편, 20년생 감귤나무의 경우 해발 90m에 위치한 포장 K-20-90에서는 5월에 973-732 pgP/mg root의 범위를 보였으나, 시비반응은 관찰할 수 없었다. 반면에 7월과 9월에는 655-419 pgP/mg root, 456-426 pgP/mg root 순으로 각각 감소되는 것으로 보였다.

해발 160m 위치한 포장 K-20-160의 경우 5월에는 일정한 경향이 없는 반면에 7월

에 516-420 pgP/mg root, 9월에 358-249 pgP/mg root순으로 감소되는 경향을 보여 인산비료 시용 수준에 따라 뿌리에 의한 인산 흡수능이 약간 감소됨을 보였다.

이처럼 5월에 실시된 bioassay 결과에서 시비반응이 관찰되지 않았다가 7월과 9월에 나타나는 것으로 보아 감귤나무와 같은 영년생 작물의 경우 수체내에 많은 양분을 보유하고 비료에 대한 반응이 비교적 느리다는 사실을 의미하며, 3~5월의 감귤생육에 필요한 양분은 과년도의 비배관리에 영향을 받고 있음을 암시하였다. 그러나 시비 처리간에 bioassay 인산 흡수능의 차이가 비교적 크지 않을 뿐만 아니라 표준 편차가 크고 유의성이 검정되지 않는 것을 감안할 때 7월과 9월에서 인산 흡수능이 감소되는 경향은 불확실한 것이며 장기적인 실험에 의해서 더욱 확실한 비료 시비 반응이 관찰 될 것으로 생각된다.

그러나 수령 또는 표고에 따른 P-32 흡수량의 차이는 발견되지 않았다(Table 16, 22).

포장 K-10-80(해발 80m, 유효인산 24ppm)과 포장 K-10-75(해발 75m, 유효인산 190ppm)에서는 뿌리에 의한 인산흡수능의 차이가 통계적인 유의성을 나타내었다(Table 16, 22).

이러한 결과는 감귤나무의 인산반응이 수령이나 표고보다는 토양 비옥도와 밀접하다는 것을 의미한다.

남부지역에서 공시된 포장 K-10-80, K-20-90, K-20-160, K-10-75의 평균



토양중 유효인산 함량도 각각 24, 77, 148, 170, 190 ppm이었으며 이에 따른 뿌리의 인산흡수능은 750, 690, 486, 460, 445  $\mu\text{gP}/\text{mg}$  root의 순으로 감소되어 포장의 유효인산 함량과 인산 흡수능이 밀접한 관계를 나타내었다(Fig. 4).

시기별로 인산흡수능을 비교해 보면 5개 포장 모두에서 5월이 가장 높고, 7월, 9월 순으로 낮아졌다. 이는 5월에 감귤나무의 인산 요구도가 제일 크며 7, 9월에는 인산 요구도가 낮아짐을 나타낸다(Table 16, 24).

각 포장에 따라 약간의 차이는 있으나 인산흡수능이 5월에 제일 크기 때문에 P-32 bioassay 의 시기는 5월이 적당하리라고 생각되지만 인산비료 처리에 따른 반응이 관찰되지 않았기 때문에 차후에 다시 검토되어야 할 것이다. 그러나 7월에서 인산 흡수능의 최고·최저치 차이가 9월보다 크기 때문에 7월이 9월보다 P-32 bioassay 시기로 더욱 적합하다고 생각된다.

식물염증의 인산함량과 인산흡수능을 비교해보면 인산함량이 낮을 때(5월) 인산 흡수능이 컸으며 인산함량이 높을 때(7, 9월)에는 저하되는 것으로 관찰되었다(Table 16, 24).

이상의 결과로 보아 뿌리에 의한 인산흡수능은 시비수준별, 계절별 그리고 토양비옥도, 염중인산 농도와 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다.

## 2) 엽분석

일반적으로 N, K, Mg, Ca, Mn, Zn의 함량은 5월에 채취된 엽에서 높은값을 보였

고, 7월과 9월로 갈수록 낮아지는 경향이였다. 이는 감귤나무의 생체량이 증가함에 따라 엽내 무기물함량이 희석된 결과라고 사료된다(Table 16, 24).

또한, 사경이나 토경재배에서와 마찬가지로 P 와 길항 작용이 있는 N, Zn 함량은 인산 시비수준에 따라 일정한 경향을 보이지 않았다.

한편, 감귤잎내의 N이나 K함량은 표고, 수령보다는 토양의 비옥도(비배관리)에 의해 뚜렷한 차이를 보이고 있었다.

## 3) 토양분석

토양내의 유기물함량은 각 포장 공히 5월에 높았으며 점차 시간이 경과함에 따라 그 함량이 감소되고 있었다(Table 17, 25).

한편, 본도의 화산회토는 인산고정능력이 커서 토양인산의 유효도가 낮기 때문에 인산비료(특히 용성인비)가 다량으로 사용되어 왔으며, 특히 감귤원의 경우 더욱 많은 양이 매년 시비되어 왔다(28).

이러한 결과로 K-10-75, K-10-160, K-20-160 실험포장의 경우 유효인산 함량이 148-190ppm으로 상당히 높은 편이었고, 치환성 Ca 또는 Mg 함량도 대단히 많다는 사실은 인산 비료 시비량을 재검토해야 할 필요성을 제기하는 것이며 P-32 bioassay에 의한 인산 영양 진단법의 확립이 절실하다는 것을 말해 주는 것이다.

## 4) 생육조사

사경이나 토경재배의 경우와 마찬가지로 신초의 길이, 엽장, 엽폭, 절간의 길이들이 인산 수준별로 차이를 보이지 않았는데(Table

18). 이는 영년생과수의 경우 일년생 작물과는 달리 수체내에 이미 많은 양분을 보유함으로써 당해년도에 시비한 비료의 반응효과가 나타나지 않은 것으로 사료된다.

5) 당도 및 감귤 생산량

유효인산이 높은 K-10-75 포장의 감귤은 타포장에 비해 brix 당도가 떨어지고 있는데 (Table 26). 이는 인산 증시가 당도를 낮춘다는 보고와 일치하고 있다(23).

한편, K-10-75과 K-20-90 포장 감귤의 생산량은 인산 비료 수준별로 차이를 보이지 않았으나 10년생(K-10-75)보다 20년생 (K-20-90)감귤나무의 경우 더 많은 수확량을 얻었다(Table 27).

나. 홍진조생

1) P-32 bioassay

궁천조생의 경우와 마찬가지로 인산시비수준이 증가함에 따라 인산흡수능이 감소되는 경향이 있었다(Table 19).

해발 50m에 위치한 10년생 홍진조생 포장 H-10-50은 5월에 404-285 pgP/mg root 범위로 시비수준에 따라 일정한 경향을 나타내지 않았으나, 7월과 9월에는 시비량의 증가와 함께 뿌리에 의한 인산 흡수능도 597-484 pg P/mg root, 372-292 pg P/mg root 순으로 약간 감소되는 것으로 보였다. 또한, 같은 수량의 해발 230m에 위치한 포장 H-10-230의 경우 뿌리에 의한 인산흡수능은 5월에 740-610 pg P/mg root, 7월에 719-573 pg P/mg root, 9월에는 396-391 pg P/mg root 순이었다.

한편, 포장별로 비교할때 H-10-230 포장과 H-10-50 포장에서 뿌리에 의한 인산 흡수능이 다른 이유는 궁천조생의 경우처럼 포장간의 유효인산 함량이 상이한것(H-10-50 : 44ppm, H-10-230 : 269ppm)에 기인됐다고 생각된다(Table 19, 20, 23).

한편, 시기별 인산흡수량은 두 포장 모두 5월과 7월에 비슷한 경향이나 9월에는 낮은 값을 보였다(Table 34, 39).

한편, 엽중 인함량은 5월과 7월에 낮고 9월에는 높은편으로 인산흡수능과는 반대의 경향을 보이고 있었다(Table 19, 24).

이는 뿌리에 의한 인산 흡수능이 수체의 영양 상태와 밀접한 관계가 있다는 것을 암시한다.

2) 엽분석

감귤잎중 인함량은 시비수준에 따라 그 함량이 변하지 않았으며, 포장간의 인함량을 비교할때 토양의 유효 인산함량이 상이한데도 불구하고 비슷한 수치를 보였다. 다른 무기성분은 궁천조생의 경우처럼 대체로 5월에 높았다가 시간이 지남에 따라 낮아지고 있었다(Table 19, 24).

3) 토양분석

토양의 유기물 함량은 흑색토양에 비해 매우 낮은 편이고, 특히 유효인산은 해발 100m 미만에 설치된 포장(H-10-50)이 공식포장 중 가장 높은 함량(269ppm)을 나타내고 있었다(Table 20, 25).

이는 흑색토양에 비해 암갈색 토양이 인산고정력이 약하여 시비된 인산질 비료가 토양

Table 16-a. P-uptake of bioassay and mineral contents in the citrus leaves from the field K-10-80, influenced by the different fertilizer doses and seasons.

Sampling months	Fertilizer added ( $P_2O_5$ #g/10 a)	P-uptake (pg P/mg root)	Mineral contents						
			N (%)	P (%)	K (%)	Mg (%)	Ca (%)	Mn (ppm)	Zn (ppm)
5	0	1274 ± 46	2.02 ± 1.22	0.07 ± 0.02	1.24 ± 0.55	0.36 ± 0.16	1.49 ± 0.67	56.0 ± 13.9	38.0 ± 3.00*
	14	1201 ± 42	1.71 ± 0.73	0.08 ± 0.02	1.17 ± 0.50	0.33 ± 0.13	1.46 ± 0.67	51.0 ± 10.5	39.2 ± 6.62
	28	1075 ± 53	2.35 ± 0.28	0.06 ± 0.02	1.48 ± 0.04	0.45 ± 0.25	1.85 ± 0.20	60.0 ± 7.00	38.3 ± 1.15
	42	1259 ± 98	2.23 ± 0.40	0.06 ± 0.00	1.62 ± 0.02	0.44 ± 0.02	1.86 ± 0.16	62.6 ± 15.0	41.0 ± 1.00
	70	1219 ± 164	1.77 ± 0.10	0.09 ± 0.05	1.21 ± 0.57	0.35 ± 0.13	1.50 ± 0.61	55.0 ± 8.89	35.5 ± 4.20
	140	1180 ± 66	1.63 ± 0.90	0.10 ± 0.04	0.90 ± 0.60	0.26 ± 0.16	1.28 ± 0.90	47.4 ± 11.2	35.3 ± 4.98
7	0	629 ± 81	1.43 ± 0.09	0.16 ± 0.06	0.70 ± 0.04	0.21 ± 0.01	1.30 ± 0.05	35.5 ± 2.55	35.5 ± 3.47
	14	627 ± 186	1.10 ± 0.09	0.09 ± 0.37	0.72 ± 0.03	0.20 ± 0.01	1.26 ± 0.01	36.6 ± 2.89	37.2 ± 0.96
	28	557 ± 182	1.31 ± 0.14	0.20 ± 0.06	0.70 ± 0.06	0.21 ± 0.01	1.28 ± 0.08	35.0 ± 0.00	28.8 ± 2.55
	42	537 ± 53	1.28 ± 0.04	0.20 ± 0.12	0.72 ± 0.05	0.20 ± 0.01	1.20 ± 0.10	36.6 ± 2.89	32.2 ± 3.47
	70	503 ± 148	1.31 ± 0.03	0.10 ± 0.01	0.67 ± 0.06	0.21 ± 0.02	1.30 ± 0.06	39.4 ± 2.55	28.8 ± 0.96
	140	497 ± 20	1.45 ± 0.16	0.14 ± 0.07	0.71 ± 0.03	0.21 ± 0.02	1.30 ± 0.03	40.0 ± 2.89	28.8 ± 0.96
9	0	573 ± 68	1.14 ± 0.03	0.21 ± 0.11	0.96 ± 0.06	0.22 ± 0.02	0.10 ± 0.20	52.8 ± 0.96	35.6 ± 1.93
	14	594 ± 81	1.12 ± 0.30	0.13 ± 0.04	0.96 ± 0.16	0.23 ± 0.04	1.06 ± 0.11	50.0 ± 4.41	31.1 ± 9.76
	28	587 ± 57	0.93 ± 0.20	0.19 ± 0.06	0.85 ± 0.08	0.26 ± 0.02	1.09 ± 0.30	50.6 ± 0.96	38.3 ± 1.67
	42	583 ± 66	1.12 ± 0.03	0.31 ± 0.30	0.93 ± 0.03	0.23 ± 0.02	1.10 ± 0.19	50.0 ± 7.27	38.3 ± 6.01
	70	541 ± 57	1.03 ± 0.31	0.18 ± 0.60	0.91 ± 0.23	0.25 ± 0.02	1.03 ± 0.05	53.3 ± 1.67	41.1 ± 2.55
	140	506 ± 70	1.11 ± 0.30	0.27 ± 0.23	0.91 ± 0.07	0.27 ± 0.04	1.01 ± 0.13	35.6 ± 3.10	37.8 ± 6.73

# : mean ± SD

Table 16-b. P-uptake of bioassay and mineral contents in the citrus leaves from the field K-10-75, influenced by the different fertilizer doses and seasons.

Sampling months	Fertilizer added ( $P_2O_5/kg/10a$ )	P-uptake ( $\mu g P/mg$ root)	Mineral contents						
			N(%)	P(%)	K(%)	Mg(%)	Ca(%)	Mn(ppm)	Zn(ppm)
5	0	459 ± 115	3.36 ± 0.20	0.07 ± 0.01	2.25 ± 0.12	0.24 ± 0.03	2.47 ± 0.11	121 ± 16.7	76.7 ± 17.0*
	14	534 ± 65	3.39 ± 0.29	0.11 ± 0.05	2.30 ± 0.26	0.23 ± 0.03	2.47 ± 0.44	128 ± 7.23	126 ± 77.7
	28	666 ± 129	3.40 ± 0.09	0.07 ± 0.02	2.46 ± 0.19	0.26 ± 0.28	2.30 ± 0.29	110 ± 17.0	146 ± 44.7
	42	718 ± 207	3.41 ± 0.42	0.06 ± 0.01	2.58 ± 0.09	0.30 ± 0.03	2.07 ± 0.20	131 ± 28.8	142 ± 69.2
	70	538 ± 122	3.37 ± 0.14	0.10 ± 0.06	2.30 ± 0.23	0.28 ± 0.01	2.36 ± 0.30	109 ± 7.51	129 ± 99.2
7	140	760 ± 167	3.37 ± 0.66	0.67 ± 0.12	2.62 ± 0.34	0.31 ± 0.03	2.00 ± 0.53	118 ± 21.7	121 ± 12.2
	0	453 ± 107	1.15 ± 0.03	0.15 ± 0.10	0.85 ± 0.62	0.12 ± 0.02	1.13 ± 0.09	79.4 ± 15.1	41.1 ± 1.92
	14	457 ± 115	1.29 ± 0.21	0.15 ± 0.09	0.84 ± 0.05	0.11 ± 0.01	1.07 ± 0.16	76.1 ± 3.85	40.6 ± 0.96
	28	426 ± 32	1.72 ± 0.85	0.15 ± 0.03	0.77 ± 0.10	0.10 ± 0.02	1.11 ± 0.23	57.7 ± 10.7	36.7 ± 3.34
	42	428 ± 85	1.29 ± 0.14	0.15 ± 0.02	0.80 ± 0.04	0.12 ± 0.02	1.20 ± 0.06	71.7 ± 11.7	39.5 ± 6.31
9	70	418 ± 50	1.22 ± 0.20	0.12 ± 0.04	0.80 ± 0.09	0.11 ± 0.02	1.01 ± 0.15	58.9 ± 20.8	32.8 ± 7.52
	140	392 ± 77	1.12 ± 0.09	0.12 ± 0.02	0.85 ± 0.07	0.14 ± 0.01	1.34 ± 0.13	68.3 ± 7.27	40.6 ± 0.96
	0	396 ± 87	1.26 ± 0.07	0.19 ± 0.14	1.00 ± 0.06	0.11 ± 0.01	0.87 ± 0.18	83.9 ± 23.6	57.8 ± 5.09
	14	330 ± 34	1.29 ± 0.08	0.18 ± 0.09	0.88 ± 0.07	0.10 ± 0.01	0.94 ± 0.06	72.8 ± 8.39	55.6 ± 5.09
	28	328 ± 83	1.17 ± 0.45	0.16 ± 0.03	0.90 ± 0.09	0.10 ± 0.02	0.97 ± 0.12	63.3 ± 6.01	47.2 ± 3.47
70	42	323 ± 68	1.13 ± 0.38	0.19 ± 0.09	0.93 ± 0.02	0.12 ± 0.02	0.88 ± 0.05	70.6 ± 8.55	56.7 ± 2.89
	70	310 ± 60	1.36 ± 0.25	0.17 ± 0.06	0.93 ± 0.03	0.11 ± 0.02	0.91 ± 0.10	67.2 ± 11.1	57.2 ± 4.81
	140	312 ± 43	1.05 ± 0.13	0.12 ± 0.04	0.95 ± 0.17	0.11 ± 0.02	0.88 ± 0.12	62.8 ± 11.4	53.9 ± 4.19

# : mean ± SD

Table 16-c. P-uptake of bioassay and mineral contents in the citrus leaves from the field K-10-160, influenced by the different fertilizer doses and seasons.

Sampling months	Fertilizer added ( $P_2O_5$ kg/10a)	P-uptake (pg P/mg root)	Mineral contents						
			N(%)	P(%)	K(%)	Mg(%)	Ca(%)	Mn(ppm)	Zn(ppm)
5	0	679 ± 219	3.13 ± 0.27	0.09 ± 0.03	1.37 ± 0.21	0.36 ± 0.11	2.26 ± 0.28	134 ± 11.4	68.3 ± 18.8 <sup>#</sup>
	14	583 ± 150	3.06 ± 0.25	0.08 ± 0.01	1.34 ± 0.10	0.42 ± 0.17	2.23 ± 0.33	165 ± 37.1	71.0 ± 15.4
	28	663 ± 160	2.94 ± 0.44	0.07 ± 0.01	1.43 ± 0.31	0.38 ± 0.15	2.16 ± 0.18	165 ± 32.9	60.0 ± 9.85
	42	658 ± 128	3.11 ± 0.40	0.10 ± 0.03	1.46 ± 0.20	0.39 ± 0.18	2.04 ± 0.21	170 ± 66.6	56.0 ± 11.5
	70	845 ± 128	3.15 ± 0.43	0.09 ± 0.03	1.38 ± 0.24	0.37 ± 0.10	2.30 ± 0.14	103 ± 72.2	54.6 ± 1.53
7	140	612 ± 230	2.68 ± 0.33	0.09 ± 0.05	1.62 ± 0.12	0.43 ± 0.13	1.97 ± 0.14	143 ± 12.4	69.3 ± 23.6
	0	520 ± 71	0.97 ± 0.31	0.11 ± 0.03	0.73 ± 0.06	0.17 ± 0.04	1.03 ± 0.09	103 ± 12.7	42.2 ± 12.6
	14	481 ± 72	1.11 ± 0.41	0.09 ± 0.02	0.66 ± 0.09	0.17 ± 0.06	0.96 ± 1.44	119 ± 38.2	38.3 ± 3.34
	28	487 ± 99	1.36 ± 0.31	0.10 ± 0.02	0.74 ± 0.22	0.20 ± 0.09	1.15 ± 0.20	33 ± 4.2	45.6 ± 6.73
	42	480 ± 94	1.16 ± 0.03	0.31 ± 0.34	0.68 ± 0.15	0.18 ± 0.07	1.93 ± 0.14	101 ± 29.8	35.0 ± 6.67
9	70	479 ± 18	1.64 ± 0.27	0.09 ± 0.01	0.76 ± 0.21	0.24 ± 0.09	1.20 ± 0.14	121 ± 12.5	45.0 ± 5.00
	140	458 ± 46	1.44 ± 0.26	0.13 ± 0.03	0.78 ± 0.10	0.19 ± 0.11	1.24 ± 0.30	133 ± 53.4	44.4 ± 18.4
	0	340 ± 30	0.72 ± 0.06	0.07 ± 0.01	0.88 ± 0.10	0.18 ± 0.04	0.82 ± 0.07	112 ± 9.2	45.0 ± 8.81
	14	313 ± 67	1.16 ± 0.23	0.23 ± 0.08	0.80 ± 0.01	0.26 ± 0.06	0.84 ± 0.04	105 ± 30.7	45.8 ± 8.25
	28	305 ± 37	1.92 ± 0.03	0.17 ± 0.03	0.87 ± 0.12	0.20 ± 0.10	0.86 ± 0.16	133 ± 35.2	46.7 ± 1.67
70	42	309 ± 39	1.03 ± 0.23	0.09 ± 0.01	0.93 ± 0.01	0.21 ± 0.01	0.76 ± 0.11	93 ± 22.4	42.5 ± 3.54
	70	271 ± 39	1.21 ± 0.17	0.15 ± 0.03	0.82 ± 0.08	0.25 ± 0.13	0.90 ± 0.16	130 ± 30.6	46.7 ± 2.35
	140	263 ± 10	1.19 ± 0.18	0.08 ± 0.00	0.87 ± 0.08	0.20 ± 0.14	0.70 ± 0.16	122 ± 21.2	49.2 ± 1.18

# : mean ± SD

**Table 16-d.** P-uptake of bioassay and mineral contents in the citrus leaves from the field K-20-90, influenced by the different fertilizer doses and seasons.

Sampling months	Fertilizer added ( $P_2O_5$ kg/10a)	P-uptake (pg P/mg root)	Mineral contents						
			N (%)	P (%)	K (%)	Mg (%)	Ca (%)	Mn (ppm)	Zn (ppm)
5	0	973 ± 222	2.99 ± 0.26	0.06 ± 0.01	1.96 ± 0.13	0.47 ± 0.09	2.11 ± 0.28	69.7 ± 0.58	104 ± 20.1*
	20	1326 ± 214	3.11 ± 0.20	0.06 ± 0.00	2.06 ± 0.15	0.52 ± 0.06	2.13 ± 0.36	78.3 ± 7.50	152 ± 58.4
	40	1054 ± 192	3.03 ± 0.49	0.06 ± 0.00	2.19 ± 0.09	0.50 ± 0.09	1.89 ± 0.21	77.0 ± 7.55	139 ± 62.2
	60	1178 ± 91	3.09 ± 0.25	0.07 ± 0.03	2.14 ± 0.04	0.53 ± 0.07	2.19 ± 0.27	82.3 ± 5.51	105 ± 24.2
	120	1042 ± 156	2.63 ± 0.28	0.06 ± 0.01	1.97 ± 0.03	0.46 ± 0.06	2.11 ± 0.31	82.0 ± 8.54	132 ± 67.3
7	200	1180 ± 127	3.07 ± 0.25	0.06 ± 0.02	2.00 ± 0.15	0.51 ± 0.03	1.20 ± 0.36	78.3 ± 9.07	122 ± 26.1
	0	655 ± 226	1.20 ± 0.26	0.28 ± 0.34	0.57 ± 0.07	0.21 ± 0.03	0.98 ± 0.09	33.9 ± 3.47	53.9 ± 4.19
	20	527 ± 90	0.88 ± 0.12	0.08 ± 0.02	0.53 ± 0.02	0.22 ± 0.02	0.98 ± 0.06	36.7 ± 1.67	53.9 ± 6.73
	40	476 ± 98	0.92 ± 0.27	0.19 ± 0.16	0.59 ± 0.06	0.22 ± 0.02	0.96 ± 0.03	33.9 ± 4.20	45.6 ± 6.73
	60	449 ± 151	0.83 ± 0.12	0.11 ± 0.03	0.54 ± 0.06	0.22 ± 0.01	1.03 ± 0.22	36.1 ± 1.92	52.2 ± 6.31
9	120	417 ± 21	0.90 ± 0.08	0.18 ± 0.08	0.54 ± 0.07	0.23 ± 0.04	1.00 ± 0.02	38.9 ± 2.55	46.1 ± 6.92
	200	419 ± 50	1.19 ± 0.05	0.16 ± 0.05	0.58 ± 0.03	0.23 ± 0.02	0.96 ± 0.13	42.9 ± 0.96	52.8 ± 6.74
	0	494 ± 19	1.23 ± 0.16	0.21 ± 0.20	0.91 ± 0.03	0.25 ± 0.07	0.46 ± 0.43	66.1 ± 13.5	71.7 ± 6.01
	20	465 ± 15	1.78 ± 0.14	0.16 ± 0.05	0.83 ± 0.03	0.30 ± 0.01	0.71 ± 0.05	71.1 ± 0.96	73.3 ± 5.00
	40	455 ± 30	1.06 ± 0.06	0.09 ± 0.00	0.90 ± 0.02	0.28 ± 0.01	0.77 ± 0.06	73.3 ± 8.34	77.8 ± 4.20
120	60	453 ± 17	1.04 ± 0.11	0.09 ± 0.03	0.85 ± 0.07	0.26 ± 0.05	0.67 ± 0.09	61.7 ± 5.00	68.9 ± 8.22
	200	430 ± 91	1.13 ± 0.16	0.14 ± 0.03	0.85 ± 0.09	0.30 ± 0.03	0.68 ± 0.11	69.4 ± 10.8	71.7 ± 8.82
	200	426 ± 38	1.17 ± 0.02	0.12 ± 0.03	0.90 ± 0.05	0.33 ± 0.03	0.61 ± 0.03	65.0 ± 3.33	70.0 ± 4.41

# : mean ± SD

Table 16-e. P-uptake of bioassay and mineral contents in the citrus leaves from the field K-20-160, influenced by the different fertilizer doses and seasons.

Sampling months	Fertilizer added ( $P_2O_5$ kg/10a)	P-uptake (pg P/mg root)	Mineral contents						
			N(%)	P(%)	K(%)	Mg(%)	Ca(%)	Mn(ppm)	Zn(ppm)
5	0	589 ± 142	2.77 ± 0.53	0.06 ± 0.01	1.84 ± 0.22	0.32 ± 0.06	1.87 ± 0.35	102 ± 20.1	91.3 ± 7.64*
	20	622 ± 146	2.62 ± 0.60	0.06 ± 0.01	2.03 ± 0.15	0.26 ± 0.02	1.95 ± 0.22	99 ± 7.81	95.6 ± 9.81
	40	681 ± 131	2.79 ± 0.19	0.05 ± 0.01	1.80 ± 0.06	0.28 ± 0.04	1.75 ± 0.13	117 ± 18.5	92.3 ± 3.51
	60	516 ± 89	2.94 ± 0.17	0.09 ± 0.04	1.74 ± 0.23	0.31 ± 0.07	1.78 ± 0.13	111 ± 15.0	97.3 ± 13.1
	120	557 ± 130	2.50 ± 0.24	0.05 ± 0.03	2.00 ± 0.13	0.32 ± 0.07	1.68 ± 0.11	101 ± 6.11	91.3 ± 9.07
	200	568 ± 110	2.29 ± 0.57	0.06 ± 0.00	1.79 ± 0.20	0.25 ± 0.04	2.00 ± 0.30	108 ± 12.0	86.6 ± 11.7
7	0	516 ± 93	1.14 ± 0.08	0.11 ± 0.01	1.06 ± 0.02	0.12 ± 0.02	0.72 ± 0.02	98 ± 10.1	225 ± 37.8
	20	454 ± 22	1.20 ± 0.01	0.13 ± 0.03	0.77 ± 0.16	0.13 ± 0.03	0.17 ± 0.14	92 ± 16.8	174 ± 39.7
	40	457 ± 35	1.04 ± 0.10	0.11 ± 0.01	1.01 ± 0.39	0.13 ± 0.03	0.88 ± 0.19	102 ± 7.26	128 ± 46.5
	60	440 ± 92	1.12 ± 0.08	0.15 ± 0.05	0.73 ± 0.25	0.15 ± 0.01	0.98 ± 0.06	91 ± 25.3	160 ± 80.9
	120	443 ± 50	1.00 ± 0.06	0.18 ± 0.08	0.83 ± 0.15	0.13 ± 0.03	0.94 ± 0.12	88 ± 9.28	129 ± 69.8
	200	420 ± 57	0.92 ± 0.05	0.17 ± 0.03	0.86 ± 0.06	0.10 ± 0.01	0.93 ± 0.11	84 ± 2.55	75 ± 15.4
9	0	358 ± 25	1.24 ± 0.14	0.16 ± 0.02	1.02 ± 0.08	0.12 ± 0.01	0.65 ± 0.15	80 ± 3.64	44.9 ± 4.47
	20	290 ± 19	1.38 ± 0.07	0.12 ± 0.01	0.93 ± 0.64	0.12 ± 0.02	0.83 ± 0.20	88 ± 15.8	50.6 ± 1.93
	40	280 ± 37	1.09 ± 0.32	0.10 ± 0.02	1.05 ± 0.02	0.13 ± 0.02	0.68 ± 0.05	102 ± 17.6	50.6 ± 6.74
	60	280 ± 17	1.01 ± 0.21	0.11 ± 0.02	1.12 ± 0.15	0.17 ± 0.02	0.73 ± 0.04	100 ± 18.0	53.3 ± 6.01
	120	281 ± 35	1.20 ± 0.10	0.12 ± 0.01	1.17 ± 0.12	0.13 ± 0.04	0.65 ± 0.07	88 ± 16.9	52.9 ± 2.54
	200	249 ± 17	1.33 ± 0.91	0.11 ± 0.02	1.13 ± 0.18	0.13 ± 0.06	0.72 ± 0.24	113 ± 10.1	52.8 ± 6.73

# ; mean ± SD

Table 17-a. Chemical analysis of soil from the field K-10-80 at the different seasons after the citrus cultivars were grown at the different P-fertilization.

Sampling months	Fertilizer added ( $P_2O_5$ kg/10a)	Soil analysis					
		OM (%)	Available P (ppm)	Exchangeable bases (me/100g)			CEC (me/100g)
				K	Mg	Ca	
5	0	15.6 ± 4.07	24.3 ± 5.77	0.72 ± 0.00	1.04 ± 0.31	2.85 ± 0.03	18.0 ± 1.46*
	14	13.9 ± 2.61	31.3 ± 5.51	1.17 ± 0.82	1.26 ± 0.26	3.95 ± 0.16	19.6 ± 1.00
	28	14.1 ± 1.42	33.3 ± 6.35	0.64 ± 0.08	1.30 ± 0.19	3.50 ± 0.36	18.0 ± 0.44
	42	13.4 ± 1.61	33.3 ± 10.9	0.60 ± 0.14	1.86 ± 0.22	3.69 ± 1.78	18.1 ± 3.12
	70	15.2 ± 2.55	47.0 ± 5.00	1.15 ± 0.02	2.36 ± 0.39	4.46 ± 1.45	20.7 ± 1.90
	140	15.9 ± 1.76	56.0 ± 16.6	1.78 ± 1.13	5.00 ± 0.78	7.42 ± 1.14	25.0 ± 0.76
7	0	13.4 ± 1.62	5.00 ± 0.00	1.33 ± 1.55	0.63 ± 0.32	2.30 ± 0.44	16.0 ± 0.10
	14	12.9 ± 2.49	17.3 ± 8.08	0.97 ± 0.62	0.77 ± 0.27	2.77 ± 0.81	15.8 ± 0.46
	28	13.3 ± 2.30	13.7 ± 10.9	0.68 ± 0.13	0.86 ± 0.13	2.33 ± 0.20	15.0 ± 1.05
	42	13.6 ± 2.78	28.0 ± 10.8	0.57 ± 0.10	1.36 ± 0.54	3.57 ± 1.15	16.6 ± 1.36
	70	12.8 ± 1.86	19.3 ± 2.89	0.59 ± 0.08	1.13 ± 0.27	2.86 ± 0.71	17.9 ± 0.90
	140	14.0 ± 1.00	34.7 ± 10.9	1.59 ± 0.10	2.43 ± 0.61	4.27 ± 0.72	20.1 ± 0.45
9	0	11.3 ± 1.21	6.67 ± 2.89	0.52 ± 0.16	0.35 ± 0.08	2.07 ± 0.25	17.0 ± 0.36
	14	11.8 ± 1.84	11.3 ± 4.16	0.70 ± 0.29	0.82 ± 0.45	3.33 ± 1.51	18.6 ± 1.66
	28	11.7 ± 0.96	7.67 ± 2.52	0.56 ± 0.11	0.65 ± 0.10	2.49 ± 0.42	18.1 ± 0.57
	42	11.8 ± 0.81	15.7 ± 5.51	0.77 ± 0.11	1.06 ± 0.50	3.69 ± 1.76	19.7 ± 2.06
	70	11.0 ± 1.20	12.0 ± 5.10	0.77 ± 0.16	1.59 ± 0.70	4.06 ± 1.71	20.4 ± 1.31
	140	12.1 ± 1.04	40.0 ± 4.27	1.06 ± 0.27	4.41 ± 0.90	8.81 ± 5.21	26.4 ± 6.02

# ; mean ± SD



Table 17-b. Chemical analysis of soil from the field K-10-75 at the different seasons after the citrus cultivars were grown at the different P-fertilization.

Sampling months	Fertilizer added ( $P_2O_5$ kg/10a)	Soil analysis					
		OM (%)	Available P (ppm)	Exchangeable bases (me/100g)			CEC (me/100g)
				K	Mg	Ca	
5	0	14.8 ± 2.36	189 ± 46.5	4.23 ± 1.80	2.69 ± 1.93	14.1 ± 8.94	31.6 ± 7.05*
	14	14.0 ± 1.04	271 ± 60.6	4.44 ± 2.56	2.96 ± 0.46	14.0 ± 1.13	30.5 ± 3.60
	28	10.8 ± 2.60	186 ± 23.6	5.23 ± 2.10	2.35 ± 0.85	9.88 ± 3.13	27.2 ± 3.60
	42	11.7 ± 2.86	199 ± 59.0	5.10 ± 2.90	2.65 ± 1.06	9.61 ± 4.56	27.3 ± 4.88
	70	9.23 ± 1.96	194 ± 36.5	3.93 ± 1.38	2.68 ± 0.90	7.35 ± 1.77	26.0 ± 2.17
7	140	11.5 ± 0.71	171 ± 72.2	3.25 ± 1.04	1.88 ± 1.04	6.08 ± 2.05	22.1 ± 3.49
	0	12.0 ± 0.67	187 ± 57.6	4.23 ± 1.72	2.21 ± 0.60	9.89 ± 3.56	55.2 ± 5.45
	14	13.1 ± 3.09	263 ± 34.0	3.78 ± 1.82	2.80 ± 0.90	7.38 ± 0.79	27.0 ± 3.46
	28	10.7 ± 2.06	166 ± 26.7	2.13 ± 0.72	1.44 ± 0.65	5.75 ± 2.47	21.2 ± 1.21
	42	11.6 ± 0.91	150 ± 55.0	2.74 ± 0.91	2.05 ± 0.67	6.56 ± 3.42	23.2 ± 2.27
9	70	11.7 ± 0.84	173 ± 41.2	3.87 ± 1.79	3.15 ± 0.82	7.55 ± 2.34	26.0 ± 3.93
	140	11.2 ± 1.00	217 ± 73.0	3.45 ± 1.14	3.46 ± 2.41	7.56 ± 4.30	26.0 ± 4.72
	0	13.6 ± 2.14	171 ± 63.2	1.92 ± 0.54	1.82 ± 0.50	18.0 ± 6.35	33.4 ± 5.81
	14	9.03 ± 1.01	258 ± 70.2	1.85 ± 0.52	1.42 ± 0.78	10.8 ± 6.21	28.7 ± 6.00
	28	8.23 ± 1.67	106 ± 74.5	1.13 ± 0.30	1.18 ± 0.81	9.84 ± 6.29	25.0 ± 6.44
70	42	9.07 ± 0.76	166 ± 76.0	1.63 ± 0.36	1.58 ± 0.62	9.77 ± 4.64	27.7 ± 5.00
	70	8.60 ± 2.46	211 ± 68.0	1.45 ± 0.18	2.34 ± 1.60	13.8 ± 9.05	29.2 ± 8.40
	140	8.27 ± 1.60	148 ± 19.5	1.08 ± 0.33	2.10 ± 1.42	9.94 ± 3.35	24.2 ± 3.45

# : mean ± SD

Table 17-c. Chemical analysis of soil from the field K-10-160 at the different seasons after the citrus cultivars were grown at the different P-fertilization.

Sampling months	Fertilizer added ( $P_2O_5$ kg/10a)	Soil analysis					
		OM (%)	Available P (ppm)	Exchangeable bases (me/100g)			CEC (me/100g)
				K	Mg	Ca	
5	0	15.6 ± 0.89	154 ± 101	1.92 ± 0.89	2.65 ± 1.82	3.96 ± 2.65	22.7 ± 3.54 <sup>#</sup>
	14	14.1 ± 0.85	176 ± 101	2.10 ± 0.85	3.89 ± 2.86	6.36 ± 3.92	24.4 ± 3.92
	28	17.4 ± 4.10	140 ± 84.0	2.22 ± 0.82	2.78 ± 1.85	4.11 ± 2.40	23.6 ± 3.04
	42	25.4 ± 6.80	114 ± 79.1	1.67 ± 0.10	2.00 ± 1.28	2.88 ± 1.40	20.2 ± 2.36
	70	18.3 ± 4.31	174 ± 177	2.08 ± 0.94	3.66 ± 4.55	3.63 ± 1.04	23.3 ± 7.16
	140	16.3 ± 5.05	126 ± 74.0	1.71 ± 0.86	2.51 ± 0.66	2.83 ± 1.21	20.7 ± 4.96
7	0	13.1 ± 0.97	132 ± 60.5	3.12 ± 1.40	2.21 ± 1.87	4.78 ± 3.24	24.6 ± 3.78
	14	13.1 ± 0.92	162 ± 23.9	3.22 ± 1.49	2.57 ± 1.04	7.22 ± 0.80	26.5 ± 2.80
	28	14.0 ± 1.01	138 ± 35.0	2.71 ± 1.17	3.15 ± 1.14	8.16 ± 4.10	23.8 ± 1.65
	42	15.0 ± 1.64	182 ± 76.0	1.99 ± 0.30	3.48 ± 1.53	8.93 ± 3.79	23.9 ± 4.06
	70	13.8 ± 2.27	225 ± 87.9	3.31 ± 1.59	5.48 ± 1.65	11.3 ± 2.89	28.1 ± 2.26
	140	13.0 ± 2.70	208 ± 82.2	3.50 ± 2.29	4.43 ± 0.77	8.50 ± 1.88	25.4 ± 2.56
9	0	13.0 ± 0.57	164 ± 127	1.83 ± 0.10	2.13 ± 1.39	10.3 ± 7.62	29.3 ± 8.81
	14	12.9 ± 0.68	100 ± 56.0	1.22 ± 0.44	2.01 ± 1.25	9.42 ± 3.87	27.0 ± 4.61
	28	11.6 ± 0.85	124 ± 29.1	1.29 ± 0.14	3.32 ± 0.72	14.2 ± 4.77	31.5 ± 3.61
	42	12.5 ± 1.71	103 ± 50.1	1.63 ± 0.40	2.10 ± 0.57	9.07 ± 3.51	26.9 ± 2.62
	70	11.5 ± 1.21	120 ± 86.1	1.81 ± 0.62	3.13 ± 1.29	12.2 ± 4.83	29.9 ± 4.07
	140	10.0 ± 2.71	128 ± 52.0	1.36 ± 0.38	3.71 ± 0.26	12.8 ± 1.96	31.0 ± 2.90

# : mean ± SD

Table 17-d. Chemical analysis of soil from the field K-20-90 at the different seasons after the citrus cultivars were grown at the different P-fertilization.

Sampling months	Fertilizer added ( $P_2O_5$ kg/10a)	Soil analysis						
		OM (%)	Available P (ppm)	Exchangeable bases (me/100g)			CEC (me/100g)	
				K	Mg	Ca		
5	0	16.2 ± 1.33	97.7 ± 15.8	1.12 ± 0.57	1.80 ± 0.39	5.81 ± 1.75	22.8 ± 0.89*	
	20	15.3 ± 3.39	78.7 ± 10.5	1.12 ± 0.59	1.95 ± 0.31	4.31 ± 0.43	20.6 ± 1.71	
	40	15.8 ± 0.26	97.7 ± 21.4	2.72 ± 2.01	2.50 ± 0.41	6.27 ± 0.45	24.1 ± 0.85	
	60	16.6 ± 1.04	101.3 ± 30.0	1.59 ± 1.26	3.29 ± 0.84	5.03 ± 1.39	23.5 ± 1.82	
	120	16.4 ± 0.35	83.7 ± 10.5	1.34 ± 1.21	4.20 ± 1.45	4.63 ± 1.29	22.8 ± 2.35	
	200	15.2 ± 0.96	134.3 ± 19.9	0.72 ± 0.01	7.05 ± 0.61	4.25 ± 3.75	23.6 ± 3.98	
7	0	13.5 ± 0.60	59.3 ± 6.35	0.69 ± 0.09	0.91 ± 0.09	3.72 ± 0.50	20.1 ± 0.76	
	20	14.2 ± 1.08	76.7 ± 12.0	0.74 ± 0.08	2.32 ± 0.34	5.05 ± 0.67	22.0 ± 0.83	
	40	13.3 ± 2.71	78.7 ± 10.5	0.53 ± 0.12	1.50 ± 0.58	4.03 ± 1.33	19.0 ± 1.42	
	60	15.4 ± 1.12	69.7 ± 37.1	0.89 ± 0.39	2.05 ± 0.76	4.58 ± 1.29	24.3 ± 2.94	
	120	15.0 ± 1.69	87.0 ± 16.5	0.75 ± 0.10	3.27 ± 1.13	6.38 ± 2.47	24.3 ± 2.94	
	200	14.1 ± 1.69	83.7 ± 17.9	0.61 ± 0.11	2.99 ± 0.92	5.27 ± 0.96	24.5 ± 1.99	
9	0	12.5 ± 1.12	50.7 ± 19.5	0.65 ± 0.29	1.19 ± 0.67	6.51 ± 2.03	24.0 ± 2.17	
	20	12.1 ± 1.47	64.7 ± 39.6	0.56 ± 0.11	1.90 ± 0.40	7.74 ± 2.94	24.9 ± 3.24	
	40	12.5 ± 1.37	52.3 ± 10.5	0.65 ± 0.00	2.09 ± 0.32	8.44 ± 1.68	26.0 ± 1.46	
	60	13.6 ± 1.80	41.7 ± 22.9	0.57 ± 0.17	2.55 ± 0.40	7.91 ± 1.75	25.3 ± 2.40	
	120	11.7 ± 0.06	73.3 ± 18.5	0.66 ± 0.13	4.49 ± 1.83	11.0 ± 3.15	29.8 ± 3.52	
	200	12.4 ± 0.80	55.7 ± 42.7	0.63 ± 0.13	3.61 ± 1.37	9.28 ± 5.25	29.0 ± 8.89	

# : mean ± SD

Table 17-e. Chemical analysis of soil from the field K-20-160 at the different seasons after the citrus cultivars were grown at the different P-fertilization.

Sampling months	Fertilizer added ( $P_2O_5$ kg/10a)	Soil analysis					
		OM (%)	Available P (ppm)	Exchangeable bases (me/100g)			CEC (me/100g)
				K	Mg	Ca	
5	0	11.3 ± 3.09	63.0 ± 19.0	1.51 ± 0.37	1.13 ± 0.54	2.87 ± 1.47	18.4 ± 1.87*
	20	10.5 ± 2.44	94.3 ± 27.3	2.29 ± 1.47	2.02 ± 1.45	3.37 ± 0.48	19.8 ± 2.21
	40	10.9 ± 1.08	121 ± 47.0	1.47 ± 0.27	1.49 ± 0.78	4.11 ± 1.62	19.8 ± 1.46
	60	11.9 ± 1.10	45.7 ± 11.0	1.60 ± 0.23	1.94 ± 0.26	4.35 ± 0.65	19.0 ± 1.02
	120	13.6 ± 2.59	118 ± 49.1	2.11 ± 0.12	2.13 ± 0.67	5.55 ± 0.61	21.7 ± 1.14
	200	13.6 ± 4.82	208 ± 58.0	2.29 ± 0.41	3.34 ± 1.72	8.28 ± 2.62	25.6 ± 7.55
7	0	11.3 ± 2.46	217 ± 58.4	2.46 ± 0.82	1.46 ± 0.24	8.12 ± 0.32	20.1 ± 0.55
	20	10.1 ± 2.12	175 ± 44.4	1.94 ± 0.16	1.47 ± 0.63	8.18 ± 3.25	21.5 ± 2.97
	40	9.13 ± 2.27	185 ± 67.8	2.77 ± 0.94	2.13 ± 0.67	9.65 ± 2.00	23.2 ± 1.25
	60	11.6 ± 1.94	244 ± 96.0	3.20 ± 0.90	2.71 ± 0.43	10.4 ± 3.83	24.5 ± 4.18
	120	8.50 ± 1.40	192 ± 37.9	2.48 ± 1.05	3.18 ± 1.15	8.48 ± 0.91	23.0 ± 2.48
	200	10.5 ± 4.03	251 ± 72.2	2.48 ± 1.17	3.37 ± 0.74	9.33 ± 2.23	24.9 ± 3.45
9	0	8.97 ± 2.25	178 ± 50.0	1.10 ± 0.25	1.24 ± 0.34	12.2 ± 2.44	24.1 ± 2.72
	20	10.0 ± 2.01	175 ± 50.7	1.11 ± 0.28	0.89 ± 0.69	9.38 ± 5.59	21.0 ± 6.25
	40	10.2 ± 0.85	160 ± 28.5	0.83 ± 0.14	1.74 ± 0.14	16.7 ± 3.00	28.5 ± 1.95
	60	10.2 ± 0.93	209 ± 54.9	6.99 ± 0.23	1.79 ± 0.24	14.8 ± 3.60	28.4 ± 1.42
	120	11.1 ± 1.35	227 ± 60.9	1.31 ± 0.50	2.92 ± 0.50	14.8 ± 5.66	29.1 ± 6.48
	200	10.1 ± 4.54	212 ± 75.4	1.18 ± 0.33	4.34 ± 2.02	15.8 ± 6.78	30.9 ± 9.06

# : mean ± SD

Table 18. Effect of P application rates on the tree growth of citrus cultivar "Kung Chun".

Field code	Fertilizer added (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg/10a)	Branch length (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Node length (cm)
K-10-80	0	23.8 ± 6.37	7.24 ± 1.66	4.06 ± 2.65	2.16 ± 0.92 <sup>#</sup>
	14	23.1 ± 6.20	7.39 ± 1.22	3.97 ± 1.96	2.12 ± 0.73
	28	19.5 ± 7.10	6.77 ± 1.61	3.80 ± 0.92	2.20 ± 0.87
	42	21.1 ± 7.69	6.97 ± 1.73	3.76 ± 0.99	2.07 ± 0.78
	70	19.5 ± 8.80	6.85 ± 1.91	3.65 ± 1.14	1.79 ± 0.85
	140	21.4 ± 10.1	5.94 ± 2.08	3.42 ± 1.04	1.67 ± 0.92
K-10-75	0	30.5 ± 19.6	7.71 ± 4.36	4.32 ± 1.14	2.45 ± 1.26
	14	35.1 ± 17.8	7.15 ± 2.96	4.03 ± 1.45	2.55 ± 1.35
	28	30.6 ± 19.9	7.27 ± 4.47	3.94 ± 1.07	2.23 ± 1.13
	42	30.1 ± 13.4	7.62 ± 2.20	4.24 ± 1.16	2.26 ± 0.78
	70	23.9 ± 13.9	9.02 ± 2.44	4.34 ± 1.00	2.25 ± 0.64
	140	27.9 ± 13.3	7.72 ± 2.11	3.99 ± 0.94	2.17 ± 0.71
K-10-160	0	20.5 ± 10.2	8.80 ± 2.27	4.36 ± 1.02	1.94 ± 0.68
	14	21.5 ± 9.61	7.93 ± 1.80	3.96 ± 0.81	1.95 ± 0.88
	28	23.6 ± 13.7	7.47 ± 2.11	3.87 ± 0.88	2.04 ± 1.18
	42	20.8 ± 12.3	6.93 ± 2.48	3.72 ± 1.09	1.83 ± 0.87
	70	23.1 ± 15.5	7.57 ± 2.41	3.87 ± 1.30	1.99 ± 1.28
	140	21.7 ± 11.7	7.46 ± 2.23	3.82 ± 1.06	1.98 ± 1.02
K-20-90	0	19.3 ± 6.70	9.98 ± 2.98	4.79 ± 2.17	2.25 ± 0.85 <sup>#</sup>
	20	20.4 ± 9.44	10.3 ± 2.79	4.80 ± 1.40	2.26 ± 1.13
	40	23.1 ± 8.94	7.46 ± 3.10	4.64 ± 1.70	2.31 ± 1.18
	60	23.2 ± 13.1	9.19 ± 3.20	4.40 ± 1.63	2.24 ± 0.99
	120	21.2 ± 10.6	10.1 ± 2.72	4.38 ± 1.65	2.39 ± 0.81
	200	21.3 ± 9.79	10.2 ± 2.96	4.37 ± 1.13	2.34 ± 0.88
K-20-160	0	15.6 ± 10.7	7.81 ± 2.10	3.61 ± 0.97	1.86 ± 1.04
	20	16.2 ± 9.16	7.28 ± 2.30	3.55 ± 0.78	1.88 ± 0.87
	40	16.7 ± 6.93	7.72 ± 1.56	3.79 ± 0.83	1.75 ± 0.99
	60	22.3 ± 9.73	7.67 ± 2.25	3.98 ± 1.16	1.98 ± 0.89
	120	23.8 ± 11.1	7.48 ± 2.20	3.78 ± 1.02	2.04 ± 1.13
	200	24.1 ± 10.7	7.88 ± 1.96	3.73 ± 1.04	1.93 ± 1.04

# : mean ± SD

Table 19-a. P-uptake of bioassay and mineral contents in the citrus leaves from the field H-10-50, influenced by the different fertilizer doses and seasons.

Sampling months	Fertilizer added ( $P_2O_5$ kg/10a)	P-uptake (pg P/mg root)	Mineral contents								
			N(%)	P(%)	K(%)	Mg(%)	Ca(%)	Mn(ppm)	Zn(ppm)		
5	0	314 ± 76	3.49 ± 0.33	0.09 ± 0.04	1.86 ± 0.08	0.31 ± 0.04	2.54 ± 0.06	232	± 45.6	120	± 18.6 <sup>#</sup>
	9	337 ± 44	3.69 ± 0.23	0.09 ± 0.02	2.06 ± 0.14	0.32 ± 0.06	2.34 ± 0.17	229	± 47.4	128	± 26.2
	18	285 ± 68	3.85 ± 0.13	0.17 ± 0.02	2.16 ± 0.05	0.36 ± 0.34	2.14 ± 0.28	250	± 16.5	116	± 28.9
	36	297 ± 67	3.49 ± 0.33	0.08 ± 0.02	2.18 ± 0.35	0.35 ± 0.04	2.42 ± 0.25	257	± 47.3	120	± 10.0
	50	349 ± 89	2.05 ± 1.60	0.10 ± 0.07	1.31 ± 0.75	0.20 ± 0.11	1.21 ± 0.84	128	± 79.0	75.6 ± 37.1	
	100	404 ± 146	3.64 ± 0.31	0.10 ± 0.03	2.46 ± 0.18	0.38 ± 0.04	2.27 ± 0.05	203	± 75.1	102	± 18.3
7	0	597 ± 58	1.12 ± 0.14	0.11 ± 0.01	0.90 ± 0.06	0.15 ± 0.03	0.96 ± 0.21	140	± 60.1	75.6 ± 13.9	
	9	584 ± 74	1.02 ± 0.21	0.18 ± 0.67	0.91 ± 0.65	0.12 ± 0.02	0.94 ± 0.18	112	± 16.0	62.2 ± 15.4	
	18	546 ± 50	1.17 ± 0.23	0.17 ± 0.06	0.93 ± 0.06	0.14 ± 0.01	0.84 ± 0.05	122	± 16.9	66.7 ± 13.0	
	36	525 ± 106	1.30 ± 0.49	0.25 ± 0.13	0.92 ± 0.12	0.11 ± 0.01	0.91 ± 0.14	141	± 36.2	68.9 ± 5.36	
	50	491 ± 64	0.92 ± 0.26	0.25 ± 0.14	0.90 ± 0.09	0.13 ± 0.01	1.02 ± 0.17	109	± 29.4	65.6 ± 16.9	
	100	484 ± 34	0.84 ± 0.07	0.15 ± 0.05	0.97 ± 0.04	0.15 ± 0.02	1.01 ± 0.11	116	± 46.0	63.3 ± 13.6	
9	0	372 ± 80	1.18 ± 0.06	0.40 ± 0.23	0.79 ± 0.04	0.28 ± 0.01	1.00 ± 0.09	48.9 ± 25.5	40.0 ± 10.0		
	9	365 ± 66	1.07 ± 0.29	0.18 ± 0.01	0.93 ± 0.03	0.19 ± 0.06	0.96 ± 0.09	92.9 ± 38.5	54.4 ± 20.1		
	18	351 ± 69	1.07 ± 0.22	0.22 ± 0.02	0.90 ± 0.23	0.24 ± 0.10	0.82 ± 0.21	119	± 50.6	157	± 59.4
	36	342 ± 17	1.14 ± 0.29	0.22 ± 0.06	0.78 ± 0.16	0.28 ± 0.10	0.99 ± 0.25	117	± 83.0	73.3 ± 45.9	
	50	333 ± 86	1.32 ± 0.03	0.22 ± 0.05	0.89 ± 0.16	0.22 ± 0.10	0.97 ± 0.04	90.0 ± 37.5	105	± 93.5	
	100	292 ± 39	1.18 ± 0.23	0.23 ± 0.06	0.10 ± 0.18	0.22 ± 0.11	0.86 ± 0.11	97.2 ± 50.0	57.8 ± 24.2		

# : mean ± SD

Table 19-b. P-uptake of bioassay and mineral contents in the citrus leaves from the field H-10-230, influenced by the different fertilizer doses and seasons.

Sampling months	Fertilizer added ( $P_2O_5$ kg/10a)	P-uptake (pg P/mg root)	Mineral contents						
			N(%)	P(%)	K(%)	Mg(%)	Ca(%)	Mn(ppm)	Zn(ppm)
5	0	665 ± 210	3.26 ± 0.19	0.07 ± 0.00	1.59 ± 0.12	0.46 ± 0.05	1.96 ± 0.05	102 ± 55.7	44.7 ± 5.69*
	9	610 ± 41	3.68 ± 0.36	0.13 ± 0.06	1.85 ± 0.07	0.43 ± 0.09	2.38 ± 0.33	101 ± 56.0	47.0 ± 9.64
	18	617 ± 78	3.38 ± 0.13	0.07 ± 0.02	1.55 ± 0.07	0.51 ± 0.08	1.83 ± 0.28	100 ± 12.1	41.7 ± 4.73
	36	630 ± 10	3.35 ± 0.12	0.10 ± 0.03	1.57 ± 0.26	0.50 ± 0.16	1.95 ± 0.64	69.0 ± 51.4	38.9 ± 7.09
	50	740 ± 151	2.90 ± 1.01	0.12 ± 0.00	1.43 ± 0.52	0.42 ± 0.14	1.64 ± 0.54	83.3 ± 28.8	38.7 ± 21.3
100	691 ± 115	3.50 ± 0.22	0.06 ± 0.02	1.58 ± 0.13	0.48 ± 0.09	2.26 ± 0.21	99.3 ± 23.5	39.0 ± 3.61	
7	0	719 ± 44	1.05 ± 0.12	0.12 ± 0.03	0.60 ± 0.04	0.25 ± 0.01	1.39 ± 0.18	52.8 ± 3.47	38.9 ± 6.94
	9	667 ± 88	1.04 ± 0.14	0.11 ± 0.04	0.68 ± 0.08	0.22 ± 0.03	1.37 ± 0.08	58.9 ± 4.19	28.9 ± 0.96
	18	621 ± 69	1.03 ± 0.06	0.11 ± 0.01	0.63 ± 0.06	0.25 ± 0.02	1.22 ± 0.13	55.0 ± 4.41	24.4 ± 4.19
	36	603 ± 106	1.01 ± 0.05	0.15 ± 0.10	0.61 ± 0.12	0.27 ± 0.01	1.27 ± 0.26	56.1 ± 3.47	27.8 ± 6.31
	50	596 ± 18	0.83 ± 0.08	0.18 ± 0.13	0.58 ± 0.09	0.24 ± 0.02	1.23 ± 0.08	54.4 ± 5.09	25.6 ± 1.93
100	573 ± 58	1.06 ± 0.12	0.14 ± 0.03	0.55 ± 0.05	0.25 ± 0.01	1.18 ± 0.04	55.6 ± 0.96	30.6 ± 6.74	
9	0	396 ± 131	0.88 ± 0.19	0.52 ± 0.24	1.10 ± 0.07	0.17 ± 0.04	0.79 ± 0.14	141 ± 12.6	69.4 ± 10.6
	9	394 ± 66	0.91 ± 0.23	0.23 ± 0.06	0.95 ± 0.12	0.21 ± 0.08	0.84 ± 0.06	60.6 ± 35.8	53.3 ± 23.6
	18	385 ± 24	0.94 ± 0.36	0.12 ± 0.02	0.96 ± 0.18	0.26 ± 0.10	0.96 ± 0.18	87.2 ± 57.4	47.8 ± 15.5
	36	382 ± 99	0.91 ± 0.18	0.13 ± 0.06	1.01 ± 0.42	0.16 ± 0.04	0.73 ± 0.26	127 ± 41.0	97.2 ± 44.0
	50	385 ± 24	1.36 ± 0.15	0.15 ± 0.01	0.86 ± 0.45	0.26 ± 0.13	0.75 ± 0.34	80.5 ± 45.7	54.4 ± 29.5
100	361 ± 42	0.86 ± 0.02	0.16 ± 0.03	0.84 ± 0.16	0.23 ± 0.05	0.80 ± 0.16	65.6 ± 23.0	47.2 ± 11.7	

# : mean ± SD

Table 20-a. Chemical analysis of soil from the field H-10-50 at the different seasons after the citrus cultivars were grown at the different P-fertilization.

Sampling months	Fertilizer added ( $P_2O_5$ kg/10a)	Soil analysis					
		OM (%)	Available P (ppm)	Exchangeable bases (me/100a)			CEC (me/100g)
				K	Mg	Ca	
5	0	5.60 ± 0.26	143 ± 73.3	1.08 ± 0.37	0.72 ± 0.21	2.17 ± 0.81	16.5 ± 1.12*
	9	5.97 ± 0.75	249 ± 93.3	1.22 ± 0.15	1.49 ± 0.74	3.73 ± 1.33	17.9 ± 1.49
	18	5.80 ± 0.66	157 ± 47.0	1.22 ± 0.10	1.25 ± 0.43	4.07 ± 1.46	17.1 ± 0.47
	36	7.17 ± 1.66	239 ± 26.2	1.43 ± 0.30	1.25 ± 0.36	4.25 ± 1.25	17.4 ± 0.36
	50	6.03 ± 0.97	159 ± 31.1	1.43 ± 0.35	1.10 ± 0.33	4.60 ± 4.64	17.5 ± 1.32
	100	6.70 ± 0.30	143 ± 36.6	1.24 ± 0.04	1.80 ± 1.23	3.68 ± 0.98	18.2 ± 0.78
7	0	7.03 ± 1.65	276 ± 93.0	2.09 ± 0.79	1.08 ± 0.72	2.68 ± 1.83	17.4 ± 2.49
	9	6.60 ± 0.72	253 ± 45.2	1.66 ± 0.13	0.91 ± 0.36	2.47 ± 1.37	17.5 ± 1.63
	18	7.63 ± 1.27	297 ± 70.4	1.98 ± 0.50	1.55 ± 0.39	4.58 ± 1.53	18.8 ± 0.80
	36	7.30 ± 1.28	314 ± 83.0	2.16 ± 0.33	1.72 ± 0.47	5.33 ± 1.03	19.9 ± 0.87
	50	6.70 ± 0.92	359 ± 68.1	1.93 ± 0.55	1.58 ± 0.66	5.06 ± 5.31	21.1 ± 1.30
	100	8.03 ± 0.85	271 ± 65.7	1.64 ± 0.25	2.68 ± 0.67	4.62 ± 1.50	18.7 ± 0.90
9	0	5.43 ± 1.76	344 ± 65.0	0.93 ± 0.17	0.77 ± 0.20	4.38 ± 2.76	20.1 ± 2.40
	9	4.77 ± 0.32	328 ± 57.5	1.11 ± 0.30	1.03 ± 0.38	5.77 ± 3.79	22.1 ± 3.75
	18	4.07 ± 1.60	358 ± 57.8	1.18 ± 0.17	1.34 ± 0.37	8.64 ± 4.11	23.3 ± 2.85
	36	5.20 ± 0.70	339 ± 63.6	1.06 ± 0.22	1.58 ± 0.46	7.84 ± 3.15	23.2 ± 2.89
	50	4.23 ± 1.26	299 ± 50.2	1.22 ± 0.77	1.67 ± 0.33	7.91 ± 4.71	21.7 ± 3.55
	100	5.80 ± 2.15	307 ± 74.5	1.18 ± 0.22	2.25 ± 0.41	7.25 ± 1.87	22.6 ± 0.99

# : mean ± SD



Table 20-b. Chemical analysis of soil from the field H-10-230 at the different seasons after the citrus cultivars were grown at the different P-fertilization.

Sampling months	Fertilizer added ( $P_2O_5$ kg/10a)	Soil analysis					
		OM (%)	Available P (ppm)	Exchangeable bases (me/100g)			CEC (me/100g)
				K	Mg	Ca	
5	0	6.97 ± 1.29	47.3 ± 13.8	0.70 ± 0.15	2.88 ± 0.45	1.82 ± 0.69	18.7 ± 3.43 <sup>#</sup>
	9	7.87 ± 0.35	75.0 ± 8.19	0.89 ± 0.18	1.85 ± 0.34	3.25 ± 0.40	19.3 ± 1.05
	18	6.70 ± 0.71	57.7 ± 24.4	0.74 ± 0.16	1.22 ± 0.63	2.43 ± 1.17	17.1 ± 1.76
	36	7.77 ± 0.40	54.0 ± 3.46	0.88 ± 0.03	1.27 ± 0.24	2.65 ± 0.48	17.9 ± 0.46
	50	7.37 ± 0.61	61.0 ± 10.8	0.65 ± 0.08	0.47 ± 0.24	2.43 ± 0.71	17.6 ± 0.40
	100	7.47 ± 0.68	56.0 ± 8.19	0.79 ± 0.10	1.63 ± 0.43	2.60 ± 0.48	18.2 ± 0.80
7	0	8.27 ± 0.12	41.0 ± 9.64	1.17 ± 0.90	0.75 ± 0.50	1.33 ± 0.95	12.5 ± 1.61
	9	6.03 ± 2.90	40.3 ± 18.6	1.68 ± 0.12	0.74 ± 0.44	1.55 ± 0.87	13.0 ± 0.58
	18	6.67 ± 0.64	42.3 ± 4.62	0.80 ± 0.26	0.83 ± 0.22	1.43 ± 0.41	11.8 ± 0.49
	36	6.30 ± 0.36	54.0 ± 17.8	1.41 ± 0.70	1.16 ± 0.68	1.75 ± 1.11	12.8 ± 1.10
	50	6.13 ± 0.71	57.7 ± 27.6	1.75 ± 0.45	1.38 ± 0.46	2.33 ± 1.03	13.2 ± 1.50
	100	6.60 ± 0.26	73.3 ± 31.5	0.76 ± 0.10	1.67 ± 0.69	2.28 ± 1.04	13.7 ± 1.19
9	0	5.07 ± 2.57	10.3 ± 5.51	0.48 ± 0.04	0.77 ± 0.58	2.10 ± 0.93	20.1 ± 2.40
	9	5.20 ± 0.30	20.3 ± 4.04	0.47 ± 0.08	0.71 ± 0.34	2.13 ± 0.89	13.8 ± 1.65
	18	4.70 ± 0.50	16.7 ± 4.04	0.41 ± 0.03	1.10 ± 0.23	2.66 ± 0.53	15.0 ± 0.31
	36	6.23 ± 1.04	18.3 ± 6.81	0.56 ± 1.14	1.73 ± 0.98	3.67 ± 1.74	16.6 ± 1.61
	50	5.00 ± 0.17	28.0 ± 12.1	0.56 ± 0.21	1.72 ± 0.24	3.88 ± 0.55	16.7 ± 0.35
	100	7.53 ± 0.61	41.3 ± 17.0	0.71 ± 0.14	3.02 ± 0.58	5.56 ± 1.41	18.6 ± 2.15

# : mean ± SD

Table 21. Effect of P application rates on the tree growth of citrus cultivar "Hung-Jin".

Field code	Fertilizer added ( $P_2O_5$ kg/10a)	Branch length (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Node length (cm)
H-10-50	0	19.4 ± 13.0	7.47 ± 1.59	3.53 ± 0.62	1.31 ± 0.90 <sup>#</sup>
	9	16.2 ± 8.00	7.26 ± 2.17	3.42 ± 0.92	1.30 ± 0.83
	18	19.4 ± 10.8	7.35 ± 2.22	3.56 ± 1.02	1.76 ± 0.97
	36	20.8 ± 14.8	7.04 ± 2.10	3.47 ± 0.94	2.20 ± 0.83
	50	19.7 ± 11.9	8.24 ± 3.41	3.86 ± 0.88	2.10 ± 1.13
	100	11.0 ± 9.25	7.32 ± 2.39	3.57 ± 1.00	1.44 ± 0.95
H-10-230	0	17.0 ± 11.6	8.34 ± 2.13	3.84 ± 0.97	1.78 ± 0.54
	9	21.9 ± 12.6	7.57 ± 2.25	3.67 ± 1.11	1.93 ± 0.94
	18	21.1 ± 11.3	8.19 ± 2.15	3.75 ± 0.90	1.89 ± 1.14
	36	21.4 ± 9.71	8.47 ± 1.91	3.81 ± 1.04	1.91 ± 0.81
	50	24.9 ± 10.9	8.10 ± 2.63	3.83 ± 0.92	2.02 ± 0.88
	100	22.3 ± 10.5	8.49 ± 2.23	3.90 ± 1.07	2.07 ± 0.97

# : mean ± SD

Table 22. Comparison of P-uptake, mineral contents in leaves and soil properties according to the ages, soil available P, and plantation altitudes in the Kung-Chun fields.

	Mineral contents in leaves										Soil fertility					Tree growth														
	P-uptake		N		P		K		Mg		Ca		Mn		Zn		OM Avail.		Exch. bases (me/100g)		CEC		Branch length		Leaf length		Node length			
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(me/100g)	(me/100g)	(me/100g)	(me/100g)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)		
Tree age	10 yrs	486	1.83	0.12	1.02	0.27	1.41	1.27	56.0	14.5	148	2.16	3.07	7.82	25.7	21.9	7.69	3.93	1.96											
	20 yrs	445	1.66	0.11	1.27	0.18	1.16	98.0	97.1	10.7	171	1.85	2.13	9.24	23.5	19.8	7.64	3.74	1.90											
Soil avail. P	low	780	1.45	0.12	0.96	0.27	1.30	47.1	35.6	13.2	43	0.84	1.61	3.79	19.0	21.4	6.86	3.78	2.00											
	high	460	1.96	0.14	1.39	0.17	1.44	86.0	72.2	11.1	190	3.10	2.26	9.88	28.4	29.7	7.34	4.14	2.31											
Plant-tation altitude	low	486	1.83	0.12	1.02	0.27	1.41	127	50.6	14.5	148	2.16	3.07	7.82	25.7	12.9	7.69	3.93	1.96											
	high	460	1.96	0.13	1.39	0.17	1.44	86.0	72.2	11.1	190	3.10	2.26	9.88	28.4	29.7	7.34	4.14	2.31											

> or < ; Significant in Duncan's multiple range test at 5 % level.

= ; Not significant in Duncan's multiple range test at 5 % level.

Table 23. Comparison of P-uptake, mineral contents in leaves and soil properties according to the ages, soil available P, and plantation altitudes in the Hung-Jin fields.

P-uptake	Mineral contents in leaves										Soil fertility				Tree growth				
	N	P	K	Mg	Ca	Mn	Zn	OM	Avail. P	Exch. bases (me/100g)	K	Mg	Ca	CEC	Branch length	Leaf length	Leaf width	Leaf Node length	
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(ppm)	(ppm)	(%)	(ppm)	(me/100g)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(me/100g)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	
low	1.86	0.19	1.27	0.23	1.34	144	86.4	6.12	269	1.43	1.43	4.95	19.5	17.7	7.45	3.57	1.69		
high	1.77	0.14	1.05	0.31	1.37	80.0	43.9	6.55	44.1	0.86	1.44	2.55	15.6	21.4	8.19	3.80	1.93		
Plantation altitude*	<		>	<		>	>		>	>		>	>		<	<	>		

> or < ; Significant in Duncan's multiple range test at 5 % level.

= ; Not significant in Duncan's multiple range test at 5 % level.

Table 24. Seasonal comparison of P-uptake of root bioassay and mineral contents in the citrus leaves in the experimental field.

Field code	P-uptake	Mineral contents in leaves						
		N	P	K	Mg	Ca	Mn	Zn
K-10-80	5>7=9	5>7=9	5=7<9	5>9>7	5>9=7	5>7=9	5=9>7	5=9>7
K-10-75	5>7>9	5>7=9	5<7=9	5>9>7	5>7>9	5>7>9	5>9=7	5>9=7
K-10-160	5>7>9	5>7>9	5=7=9	5>9>7	5>9=7	5>7>9	5>9=7	5>9=7
K-20-90	5>7=9	5>9>7	5<7=9	5>9>7	5>9>7	5>7>9	5>9>7	5>9>7
K-20-160	5>7>9	5>7=9	5<7<9	5>9>7	5>7=9	5>7>9	5>9=7	7>5>9
H-10-50	5=7>9	5>7>9	5=7<9	5>9>7	5>7=9	5>7>9	5=9>7	9>5>7
H-10-230	5=7=9	5>7>9	5=7<9	5>9>7	5>7=9	5>7>9	9=5>7	9>5>7

- < or > ; Significant in Duncan's multiple range test at 5% level.  
 = ; Not significant in Duncan's multiple range test at 5% level.  
 5 ; May  
 7 ; July  
 9 ; September

Table 25. Seasonal comparison of soil fertility of citrus fields.

Field code	Soil fertility					
	OM	Available P	Exchangeable bases			CEC
			K	Mg	Ca	
K-10-80	5=7>9	5>7=9	5=7=9	5>9=7	5=9=7	9=5>7
K-10-75	5=7>9	5=7=9	5>7>9	5=7=9	9>5=7	9=5=7
K-10-160	5>7=9	5=7=9	7>5=9	5=7=9	5<7<9	9>7>5
K-20-90	5>7>9	5>7>9	5>7=9	5>9=7	5=7<9	9>5=7
K-20-160	5>7=9	5<7=9	7>5>9	5=9=7	5<7<9	9>7=5
H-10-50	7>5>9	5<7=9	7>5=9	5=9=7	5=7<9	9>7=5
H-10-230	5=7>9	5=7>9	5=9<7	5=9=7	9>5>7	5>9>7

- < or > ; Significant in Duncan's multiple range test at 5% level.  
 = ; Not significant in Duncan's multiple range test at 5% level.  
 5 ; May  
 7 ; July  
 9 ; September

Table 26. Effect of P-application rates on Brix sugar of citrus fruits.

Field code	P fertilizer applied ( P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg / 10 a )	Brix sugar
K-10-80	0	8.87 ± 0.32 <sup>#</sup>
	14	9.17 ± 0.21
	28	8.90 ± 0.36
	42	9.23 ± 0.15
	70	9.07 ± 0.21
	140	9.13 ± 0.15
K-20-90	0	9.37 ± 0.12
	20	9.30 ± 1.10
	40	9.07 ± 0.12
	60	9.30 ± 0.20
	120	9.06 ± 0.42
	200	8.93 ± 0.31
K-10-160	0	8.73 ± 0.59
	14	9.73 ± 0.75
	28	8.97 ± 0.50
	42	9.03 ± 0.64
	70	9.50 ± 0.87
	140	9.33 ± 0.61
K-20-160	0	9.17 ± 0.38
	20	9.50 ± 0.87
	40	9.07 ± 0.49
	60	9.13 ± 0.12
	120	8.97 ± 0.32
	200	9.10 ± 0.10
K-10-75	0	8.33 ± 0.38
	14	8.17 ± 0.76
	28	8.63 ± 0.40
	42	9.57 ± 0.60
	70	8.90 ± 0.10
	140	8.47 ± 0.15
H-10-50	0	8.87 ± 0.47
	9	8.93 ± 0.31
	18	9.10 ± 0.70
	36	8.53 ± 0.06
	50	8.93 ± 0.64
	100	8.93 ± 0.55
H-10-230	0	10.0 ± 0.30
	9	9.67 ± 0.29
	18	9.73 ± 0.25
	36	9.83 ± 0.35
	50	9.63 ± 0.50
	100	9.50 ± 0.56

# ; mean ± SD

Table 27. Effect of P application rates on the citrus fruit yield.

Field code	P fertilizer added ( $P_2O_5$ kg/ 10 a )	Yield(kg/ tree )
K-10-80	0	25.0 ± 5.00 <sup>#</sup>
	14	25.6 ± 5.51
	28	26.7 ± 5.59
	42	25.1 ± 2.15
	70	25.3 ± 1.52
	140	24.3 ± 2.08
K-20-90	0	62.3 ± 3.35
	20	53.6 ± 11.3
	40	67.1 ± 8.59
	60	62.3 ± 7.75
	120	67.0 ± 12.5
	200	72.3 ± 6.75
H-10-230	0	44.0 ± 10.5
	9	54.2 ± 7.04
	18	64.5 ± 18.0
	36	51.9 ± 3.11
	50	51.4 ± 12.9
	100	50.6 ± 3.40

# ; mean ± SD

Table 28. Root activity distribution of citrus trees measured by the P-32 injection technique.

Depth(cm) of P-32 injection	Morphology	P-32 injection point from the trunk		
		S	M	L
		Observed P-32 activity in leaves(cpm/10g)		
		S	M	L
5	Upper leaves	605	2177	3094
	Lower leaves	922	1556	1526
10	Upper leaves	313	1484	378
	Lower leaves	317	776	397

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

M : the edge of the canopy.

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

중의 유효인산으로 측정되었음을 시사한다(6, 28).

#### 4) 당도 및 생산량

홍진조생의 당도는 인산 시비 수준에 따른 차이가 없었지만 포장간의 차이가 인정되었는데 유효인산함량이 적고 표고가 높은 포장 H-10-230에서 유효인산이 높고 표고가 낮은 포장 H-10-50보다도 높은 값을 보였다(Table 26).

한편, 감귤생산량은 앞서 궁천조생 10년생(K-10-80)보다도 홍진조생 10년생(H-10-230)이 더 높은 양을 보이고 있는데, 이는 품종간의 차이보다는 궁천조생 과수원을 조성할 때 8년생 감귤나무를 이식하면서 강전정했기때문에수관용적이적어지고수세가불안정하여 생산량이 적었다고 사료된다(Table 27).

### 5. 일반농가 포장

P-32 bioassay법을 일반농가 감귤원에 적용하기에 앞서 기존 감귤원에 대한 기초조사가 필요하여 감귤나무 뿌리에 의한 인흡수능, 엽중 인함량 그리고 유효인산과의 관계를 조사하여 Figure 5, 6, 7에 나타내었다.

뿌리에 의한 인흡수능과 유효인산과는 유의적인 상관( $r=0.27$ )을 보였으나, 뿌리에 의한 인흡수능과 엽중 인농도 그리고 유효인산과 엽중 인농도간에는 상관계수가 각각 0.102, 0.063으로 점차 낮은 값을 보였다. 따라서 이들 상관계수를 비교 할 때 뿌리에 의한 인흡수능을 측정하는 것이 상대적으로 좋은 방법임을 확인 할 수 있다.

Koo등도 특히 토양중에 인산함량이 높을 때 유효인산과 엽중 인산 농도간에는 상관이 적다고 보고(18)하였던 바, 인산이 다량 시비되어 토양중의 유효인산 함량이 높은 경우 본 P-32 bioassay법은 기존의 엽분석이나 토양분석에 비해 인 요구도를 보다 정확히 알수 있는 방법이라고 사료된다.

### 6. 감귤나무의 근활력 조사

조생은주 밀감의 근활력을 보면 나무의 가지가 신장된 끝지점의 바로 밑을 중심으로 안쪽에 비해 바깥쪽의 근활력이 높았고 토양의 깊이별로 봤을때 20cm보다 5cm 부근에서 더 높은 경향이였다(Table 28 참조). 이러한 이유는 일반농가에서 주로 표층 시비를 하므로 수체의 성장에 관여하는 세근이 표층에 많이 집중되기 때문이라고 생각된다.

토양중류별 토심과 수체중심으로 부터의 거리에 따른 세근의 분포를 보면 Table 29, 30에서 보는 바와 같다.

흑색과 암갈색토양 모두 0~15cm 부근에 많은 세근이 분포되어 있었는데 흑색은 암갈색 토양보다도 뿌리의 표층 집적도가 더 높았다.

그리고, 흑색 토양의 경우 수관 안쪽보다 바깥쪽에 세근이 분포되어 있으나, 암갈색은 수관내외 쪽에 비교적 골고루 분포되어 있었다.

한편, 토심과 거리별로 채취된 세근의 P-32흡수력은 흑색과 암갈색 토양 모두 5~20cm 에서 높았고, 수관내외쪽 모두 그 흡수력은 비슷하였다(Table 31, 32 참조).



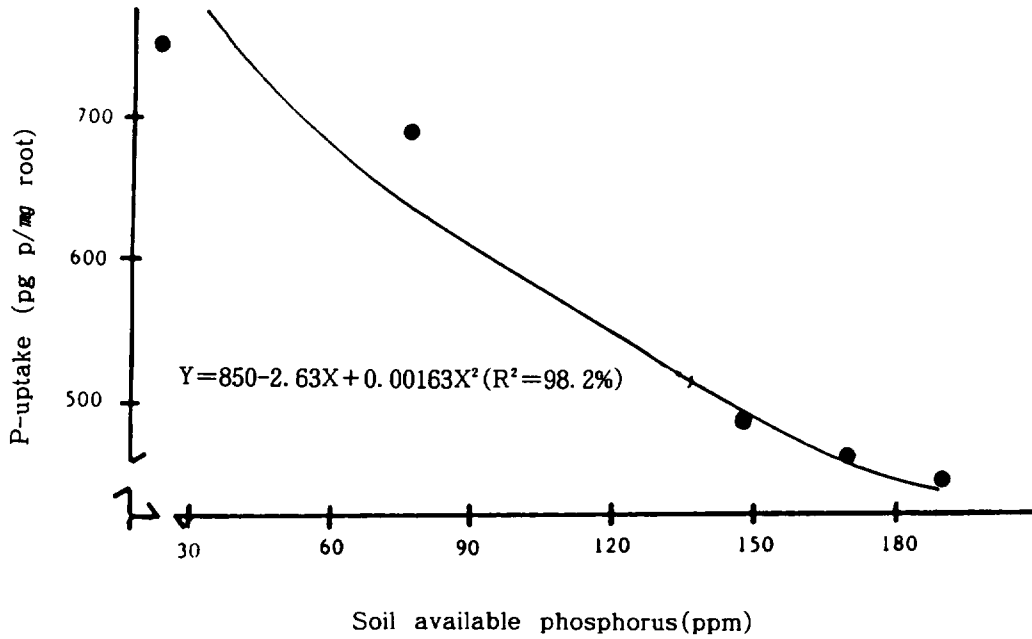


Figure 4. Relationship between P-uptake of bioassay and available P in the soil of the 'Kung-Chun' field.

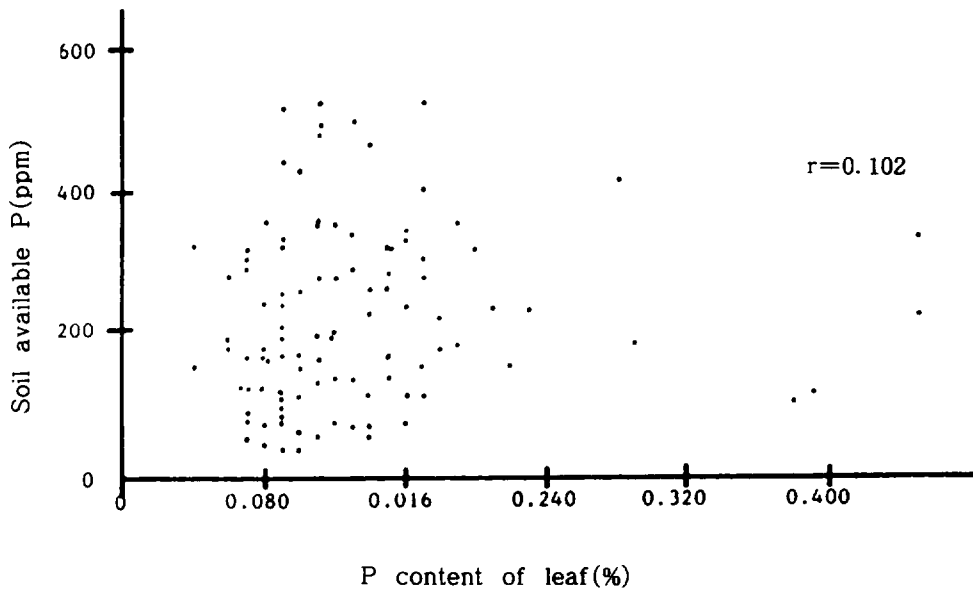


Figure 5. Relationship between P content of leaf and soil available P in the citrus farms.

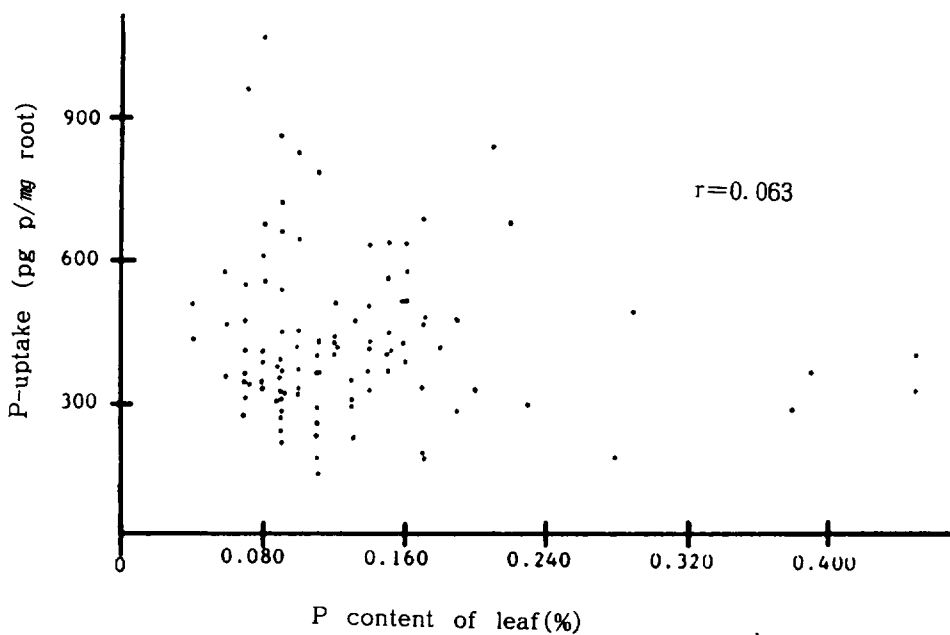


Figure 6. Relationship between P content of leaf and P-uptake of bioassay in the citrus farms.

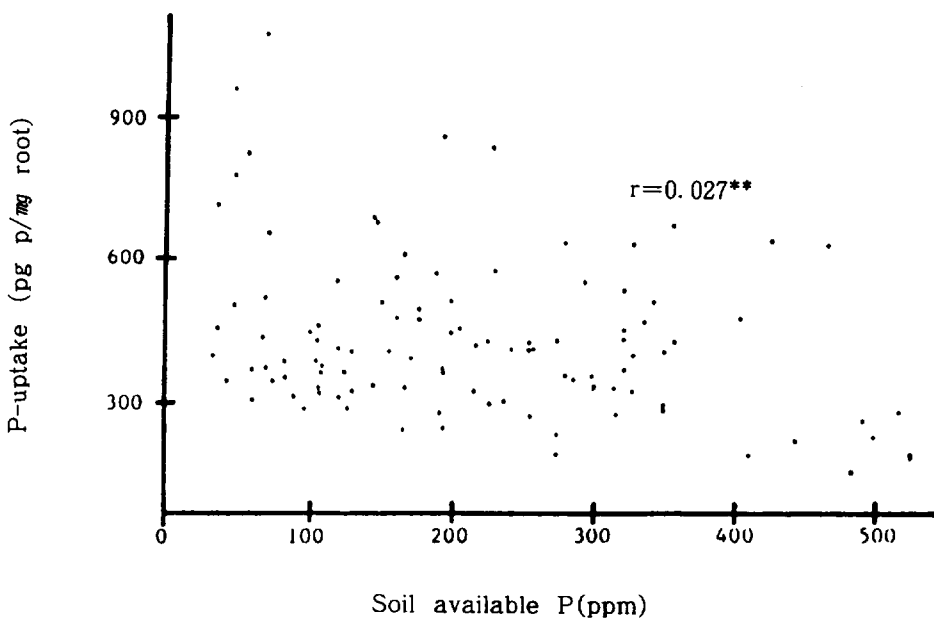


Figure 7. Relationship between soil available P and P-uptake of bioassay in the citrus farms.

Table 29. Distribution of the citrus fine roots in the black soil.

Depth (cm)	Root weight (mg/100 cc of core)		
	S	M	L
5	189.5	147.5	115.8
10	39.1	—	244.3
15	—	—	149.6
20	—	—	24.6
25	—	—	—

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

M ; the edge of the canopy.

L ; the distance extended outwardly corresponding to half the distance from the tree base to the edge of the canopy from the edge of the canopy.

— ; no roots existed.

Table 30. Distribution of the citrus fine roots in the dark brown soil.

Depth (cm)	Root weight (mg/100 cc of core)		
	S	M	L
5	154.9	44.9	—
10	72.1	95.8	61.8
15	58.5	35.9	161.4
20	13.2	3.2	76.2
25	25.0	—	12.3
30	21.7	—	25.4

S ; half the distance from the tree base to the canopy edge.

M ; the edge of the canopy.

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

— ; no roots existed.

Table 31. P-uptake activity of the citrus roots at the different depths and distances from the trunk in the black soil.

Depth (cm)	P-uptake ( pg P/mg root )		
	S	M	L
0 - 5	432	669	697
5 - 10	1167	1173	944
10 - 15	-	-	1173
15 - 20	-	-	884
20 - 25	-	-	-
25 - 30	-	-	-

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

M : the edge of the canopy.

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

- : no roots existed.

Table 32. P-uptake activity of the citrus roots at the different depths and distances from the trunk in the dark brown soil.

Depth (cm)	P-32 uptake ( pg P/mg root )		
	S	M	L
0 - 5	273	405	-
5 - 10	349	402	371
10 - 15	442	334	362
15 - 20	441	96	242
20 - 25	311	-	241
25 - 30	272	-	230

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

M : the edge of the canopy.

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

- : no roots existed.

이상의 결과에서 보는 바와같이 감귤나무의 인산영양에 관여하는 세근은 수관중심으로 안쪽보다는 바깥에 위치하고 있으며, 비교적 표층(0~15cm)에 분포하고 있다. 따라서 인산질 비료는 수관주위의 표층에 공급하는 것이 바람직하다.

또한, P-32 bioassay 실험을 위해 채취하는 세근도 수관부근에서 채취되어야 할 것이며 이상의 실험결과를 토대로 하여 뿌리의 채취 부위를 선정하는 것이 좋다고 생각한다.

## 적 요

산림의 인산 영양진단에 적용했던 P-32 bioassay법을 영양특성이 다른 감귤나무에 직접 이용이 곤란하므로 궁천조생과 홍진조생 감귤나무를 공시 재료로 하여 사경과 토경재배 그리고 포장실험을 통해서 P-32 bioassay법과 관련된 기초 연구를 수행하였다.

1. 사경과 토경으로 재배된 2년생 감귤나무(궁천, 홍진조생)로 부터 뿌리를 채취하여 P-32 bioassay를 실시한 결과 인산 공급량과 인흡수능간에 고도의 지수적인 역상관을

보였다.

2. 한편, 야외포장실험의 경우 5월에는 인흡수능과 시비량간에 일정한 경향을 보이지 않았으나 7월과 9월에는 시비량이 증가함에 따라 인 흡수능은 감소하는 경향을 보였다.

이는 감귤나무가 인산에 대한 시비반응이 느리다는 사실을 암시한다. 또한, 인흡수능을 계절별로 봤을 때, 7월과 9월보다는 5월에 가장 컸으며 수령이나 표고보다는 토양의 비옥도에 의해 영향을 받고 있었다.

3. 인흡수능-유효인산-엽중인농도간의 상관성을 비교할때 인흡수능-유효인산과 인흡수능-엽중인농도간의 상관성이 유효인산-엽중인농도보다 컸음을 감안할때 P-32 bioassay법이 감귤의 인산영양진단에 효율적인 방법이 되리라고 생각한다.

4. P-32 bioassay를 실시하기 위해 채취된 뿌리는 저온보다는 실온에 저장하는 것이 근활성을 유지하는데 효과적이었다.

5. 감귤나무의 근활성은 수관밑의 0~5cm 표층에서 가장 높았으며 이는 다년간 표층시비에 기인되어 양분흡수에 관여하는 세근이 표층에 분포되었음을 시사하는 것이다.

## V. 참 고 문 헌

1. American Society of Agronomy, 1965. Methods of soil analysis, pp. 999~1009.
2. 배대한, 정순경, 남인회, 1973. 감귤원 시비적기와 적량에 관한 시험·농제시연보 : 113~116.
3. 정순경, 오성도, 1975. 감귤원 시비적기와 적량에 관한 시험·농제시연보 : 247~260.
4. 정재권, 문덕영, 권혁모, 1982. 감귤원 석회시용에 의한 인산비효 증진 시험·농제시연보 : 185~204.
5. Dighton, J., and A. F. Harrison. 1983. Phosphorus nutrition of lodgepole pine and sitka spruce stands as indicated by a root bioassay. *Forestry* 56:33~43.
6. 김형욱, 1974. 제주도 감귤원 토양의 인산형태 및 흡착에 관한 연구. *한국농화학지* 19(3) : 219~232.
7. Embleton, T. W., W. W. Jones, C. K. Labaruskas, and R. G. Platt. 1971. Leaf analysis and phosphorus fertilization of oranges. *Citrograph*. 56 : 101~124.
8. Epstein E, 1972. Mineral nutrition of plants: principles and perspectives. John Wiley and Sons. Inc. pp. 17~119.
9. 한국 비료공업협회. 1983. 비료년감. p. 242.
10. Harrison, A. F., and J. Dighton. 1986. A root bioassay for determination of P-deficiency in commercial forest stands, *J. Sci. Fd. Agric.* 37 : 16~17.
11. Harrison, A. F., J. Dighton, J. C. Hatton, and M. R. Smith, 1985. A P-deficiency bioassay for trees and grasses growing on low nutrient status soils. *Proc. Symp. International association for the optimization of plant nutrition, Sept. 1984, Montpellier, France.*
12. Harrison, A. F., J. Dighton, and M. R. Smith, 1984. The phosphorus deficiency bioassay: sample and data handling procedures Merlewood R. and D. papers. No. 103.
13. Harrison, A. F., J. C. Hatton, and K. Taylor 1986. Application of a root bioassay for determination of P-deficiency in high altitude grasslands, *J. Sci. Fd. Agric.* 37:10~11.
14. Harrison, A. F., and D. R. Helliwell, 1979. A bioassay for comparing phosphorus

18. 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.
19. 井上頼數, 大井卓雄. 1963. 礫耕栽培—技術と經營. 地球全書—29. pp. 262~263.
20. Michalik, I. 1974. The role of the root system in the phosphorus uptake and metabolism In : Kotek, J. (ed.) Structure and function of primary root tissue. Slovak Acad. Science. pp. 447~453.
21. 농촌진흥청·토양화학분석법. 1978. pp. 54~57, 101~103, 160, 166~167.
22. 농촌진흥청, 농사시험연구조사기준. 1983. pp. 223~227.
23. Reitz, H. J., D. Leonard, I. Stewart, R. C., J. Koo, C. A. Anderson, R. L. Reese, D. V. Calvert, and P. F. Smith. 1972.  
Recommended fertilizers and nutritional sprays for citrus, Univ. Fla. Agr. Expt. Sta. Bul. 536C : 26pp.
24. SAS institute 1985. SAS/STAT guide for PC, version 6. pp. 58~82.
25. Spencer, W. F., 1963.  
Phosphorus fertilization of citrus, Univ. Fla. Agr. Expt. Sta. Bul. 653 : 48pp.
26. Van Cleve, K., and A. F. Harrison, 1985. Bioassay of forest floor phosphorus supply for plant growth, Can. J. Forest Research 15 : 156~162.
27. Weatherburn, M. W. 1967.  
Phenol-hypochlorite crude protein reduction for determination of ammonia. Analytical Chem. 39(8) : 971~974.  
availability in soils, J. Appl. Ecology 16:467~505.
15. IAEA. 1975. Root activity patterns of some tree crops. Technical Report Series No. 170, pp. 1~24.
16. 작물분석법위원회편, 1976, 재배식물분석측정법, pp. 69~70, 75, 79, 84, 110.
17. Kolthoff, I. M, E. B. Sandell, E. J. Meehan, and S. Bruckenstein. 1969. Quantitative chemical analysis. The Macmillan company.  
Collies—Macmillan Limited., London, pp. 642~649.
28. 유순호, 송관철. 1984. 입지토양의 특성. 아열대농업연구 1 : 73~30.
29. 石原正義. 1982. 果樹の營養生理. 農山漁村文化協會 pp. 62~63.