温州ミカン葉中の無機成分の組成ならびに土壌リンに及ぼす10年間のリン酸肥料施用の影響

坂本辰馬・円木忠志・奥地 進・船上和喜

(愛媛県果樹試験場)

T. SAKAMOTO, T. MARUKI, S. OKUCHI and K. FUNAGAMI : Effect of the phosphate fertilization during ten years on the content of inorganic macroelements of Satsuma orange leaves, and on the phosphorus content of the soil.

Summary

1. For ten years of 1953-62, the trial of phosphate fertilization was carried on with Satsuma orange trees grown singly in the concrete frames. Each tree was planted in 1952 with uncultivated upland soil derived from the sand stone, and was applied with N 380 g, P_2O_5 230 g and K_2O 300 g each year. In June nearly 10 kg of mowed grasses was mulched on the surface of soil. The experiment consisted of the following three plots; phosphate plot-1 (lime superphosphate), phosphate plot-2 (fused magnesium phosphate) and non-phosphate plot.

2. Throughout all the experimental years, no significant difference was found among the three plots concerning the trunk diameter of a tree, yields and fruit quality as determined by sugar and acid content of the juice as well as the color development of the peel. However, the tree size in the phosphate plot-1 became smallest among the three plots after the eighth year of the trial. The total amount of fibrous roots distributed in the soils of 0 to 30 cm depth was also most inferior in the same plot when observed in 1962. This suggests us that the continuous application of lime superphosphate will not be good for the growth of Satsuma orange trees.

3. The analysis of foliage made in every month from May to November of 1962 showed no significant difference of the phosphorus content among the three plots. Besides, no certain trend of monthly variation of N, P, K, Ca and Mg content was observed in each plot. However, when examined precise-

ly, the content of those inorganic elements was very variable even in the trees which belonged to the same plot. So, it seems necessary to study more on this subject.

4. The soil analysis in 1962 indicated a decrease of soil pH during ten years probably on account of no liming, its value in each plot being less than 4. In the soils of 0 to 30 cm depth, the both phosphate plots contained aluminum P, iron P and total amount of P more abundantly than the non-phosphate plot. The vertical distribution of those kinds of phosphorus showed distinctly the movement of phosphorus in the soil after its application. Even in the soils of the non-phosphate plot, those kinds of soil phosphorus were also found similarly, which might originated from the mulched materials. However, when observed with NH_4Cl soluble P and calcium P, there existed no marked difference among the three plots. Even with aluminum P and iron P, no quantitative difference could be found among the three plots when observed in the soils of more than 30 cm depth.

5. Thus, so long as the result of this experiment is concerned, no favorable effect of ten years' phosphate fertilization was recognized on the growth, yields and fruit quality of Satsuma orange trees. This fact shows us also that an application of phosphate to Satsuma orange trees which are growing at least in the field, is still open to further study.

わが国における温州ミカン成木についての肥料要素試験の結果では、10 か年以上もリン酸肥料を施用しないと、収量が3要素施用の場合の60~70%に低下し⁽²³⁾、果汁中の酸が増加することが知られている⁽¹²⁾。従来果

1964年6月8日受理

樹園におけるリン酸肥料の利用率は20~30%と指摘され⁽²⁾、現今の温州ミカン成木園のリン酸(P_2O_5)施用量は10アール当り年間15~25 kgが慣行となつている^(7, 20, 26)。

カンキツに対するリン酸肥料の影響は、主に幼木を用

いた試験で、樹の生長、果実の品質および葉中の無機成分組成などが解明されてきた^(10,20)。しかしながら温州ミカン成木について³²P アイソトープを使用して研究を行なつた中間からは⁽¹³⁾、施用したリン酸の吸収割合が驚くほど少ないことを明らかにし、幼木を用いた肥料試験の結果は直ちに成木には適用しにくいことを指摘した。このことは、温州ミカン成木園ではリン酸肥料の肥効がきわめてわかりにくい1例を示したものと考えられる。

本報文は、温州ミカンの3年生から12年生に至るまでの10か年のリン酸肥料試験において、10年目の葉分析および土壌分析の結果から、リン酸施用の有無の影響をしらべ、温州ミカン園におけるリン酸肥料の効果の1例を論じたものである。

I. 材料および方法

1952年に愛媛県果樹試験場南予分場(愛媛県北宇和郡吉田町)の平坦地に縦1.8m×横1.8m×深さ1mのコンクリートわくを設置し、中生層白堊紀砂岩の風化した未耕地土壌をつめ、各わくの中心部に2年生の普通温州ミカン(南柑4号)を1本あて植え付けた。翌1953年からリン酸肥料の試験を開始し、試験区はリン酸区-I(過リン酸石灰施用)、リン酸区-II(熔成リン肥施用)および無リン酸区で、各区の供試樹数は4本である。年間の施肥量は1953~'62年の10年間を通じて1わく当りN380g(3月50%, 6月25%, 11月25%), P₂O₅ 230g(3月に全量施用), K₂O 300g(3月25%, 6月50%, 11月25%)で、窒素およびカリ肥料は硫酸および硫酸カリを用いた。また毎年6月には1わく当り10kgの刈草(主にカヤ類)を土壌表面に敷いた。施肥はこの敷草をのけて土壌表面に均一に散布し、3要素以外の肥料(石灰および苦土など)は施用しなかつた。

供試樹の栽培管理(剪定、摘果、病虫害防除など)は愛媛県果樹南予分場の慣行にしたがって行ない、1953~'55年の期間は未結実の状態で生育させ、試験4年目の1956年(樹齢6年)から着果させた。10年目の1962年の5~11月の各月に、各試験区4本の供試樹それぞれからこの年に發育した春葉および春枝、ならびに1961年の春葉および春枝を採取し、無機成分(N, P, K, Ca, Mg)の分析に供試した。また5月にわく内の土壌を厚さ5cmごとに深さ50cmまで採取し、風乾細土について化学分析を行ない、CHANG and JACKSONの方法⁽³⁾によつて土壌リンのfractionationを行なつた。

II. 供試樹の生育、収量および果実の品質の概要*

* 1963年11月園芸学会中国四国支部大会(松山)において発表⁽¹¹⁾

供試温州ミカンの樹の生育、収量および果実の品質の概要を、試験7~8年目の幹径および樹容積、6~8年目の果汁中の糖および酸分析、ならびに8年目の採収時(11月下旬)の果皮の着色調査、1956~'61年の期間の1樹当りの収量合計からみると、第1表に示すとおりである。

第1表 供試温州ミカンの樹の生育(幹径、樹容積)、収量、果汁中の全糖および酸含量、果皮の着色

項	目	リン酸区 I	リン酸区 II	無リン酸区	L. S. D. (5%)
幹 径 (cm)	試験 7 年 目	5.7	6.2	5.4	0.7
	" 8 年 目	6.0	6.4	6.5	N. S.
樹容積 (m ³)	試験 7 年 目	4.5	4.3	4.3	N. S.
	" 8 年 目	4.3	5.7	5.8	1.2
収量(1956~'61年間の1樹当りの合計, kg)		85.6	117.2	101.9	N. S.
果汁中の全糖 (g/100 ml)	試験 6 年 目	8.06	9.22	9.41	0.58
	" 7 年 目	7.63	7.58	7.48	N. S.
	" 8 年 目	8.04	7.92	7.76	N. S.
果汁中の酸 (クエン酸換算) (g/100 ml)	試験 6 年 目	0.97	1.02	0.97	N. S.
	" 7 年 目	0.92	0.86	0.94	N. S.
	" 8 年 目	1.18	1.04	1.09	N. S.
果皮の着色 (果数 % 試験 8 年 目)	Reddish orange	28	23	26	—
	Orange	23	29	32	—
	Yellowish orange	18	19	20	—
	Greenish yellow	13	15	9	—
	Green	18	14	13	—

本表からリン酸肥料施用の有無が供試樹の生育、収量ならびに果実の品質に及ぼす影響を判断すれば、樹容積以外には著しい差がないことが認められた。このことは、年度により多少の相違があつたけれども、試験期間を通じてはなほだしくは変らなかつた。試験8年目の樹容積は、リン酸区-Iが有意的に小さかつた。しかし、7年目の1959年までは、各試験区の樹容積には著しい差がなかつた。したがつて、リン酸区-Iの樹容積が1960年より小さくなつたのは、リン酸施用の有無またはリン酸肥料形態の相違による影響か、あるいは他の間接的な要因による影響であるかは、さらに検討の必要がある。

III. 試験10年目の葉中の無機成分組成

試験10年目の1962年に行なつた供試樹の無機成分分析の試料としての枝葉は、供試樹それぞれについて樹冠の頂部、下部および内部をできるだけ避けた樹の全体から採取した。1961年の春葉および'62年の春葉それぞれの採取は、未結果枝および結果枝を区別せずに両者よりほぼ均等に行なつた。1961年および'62年の春枝はできるだけ未結果枝より採つた。無機成分の分析は果樹の葉分析法⁽²¹⁾に準じて行ない、分析値は各試験区4本の平均で表示した。この結果は、第2~6表に示すとおりである。

第2表 試験 10 年目 (1962 年) の葉および緑枝中のリン酸
(乾物当りの P%)

枝葉の 新旧	採取月 日	5月 21日	6月 17日	7月 15日	8月 20日	9月 15日	10月 15日	11月 19日
1961 年 の春葉	試験区							
	リン酸区-I	0.172	0.137	0.120	0.153	0.131	0.114	0.121
	リン酸区-II	0.165	0.120	0.141	0.149	0.138	0.122	0.120
	無リン酸区 L.S.D. (5%)	0.166	0.129	0.126	0.137	0.140	0.125	0.118
1961 年 の春枝	リン酸区-I	0.180	0.124	0.132	0.116	0.126	0.130	0.141
	リン酸区-II	0.201	0.141	0.140	0.142	0.140	0.136	0.147
	無リン酸区	0.169	0.117	0.145	0.138	0.129	0.125	0.127
	L.S.D. (5%)	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
1962 年 の春葉	リン酸区-I	—	0.194	0.157	0.190	0.186	0.179	0.171
	リン酸区-II	—	0.210	0.193	0.196	0.181	0.155	0.168
	無リン酸区	—	0.188	0.182	0.199	0.182	0.164	0.160
	L.S.D. (5%)	—	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
1962 年 の春枝	リン酸区-I	—	0.154	0.159	0.103	0.176	0.180	0.110
	リン酸区-II	—	0.170	0.181	0.095	0.183	0.177	0.108
	無リン酸区	—	0.149	0.147	0.100	0.192	0.159	0.113
	L.S.D. (5%)	—	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.

中の試験区間の最高の差を求めるとつぎのとおりである。

	1961年 春葉	1961年 春枝	1962年 春葉	1962年 春枝	葉の 平均
N	0.41%	0.31%	0.34%	0.29%	0.37%
K	0.15	0.09	0.30	0.13	0.23
Ca	0.38	0.44	0.23	0.41	0.30
Mg	0.14	0.14	0.17	0.10	0.15

以上の値のうち葉について、各成分の葉中の平均含量 (N 3.0%, K 1.5%, Ca 3.5%, Mg 0.4%) に対する割合を計算すれば、N は 12%, K は 25%, Ca は 12%, Mg は 40% に達している。しかしながら、窒素および石灰含量は、試験区間に有意差が認められなかった。カリについても同様であるが、1962 年の春枝には有意差が認められる時期があった。この場合でもカリ含量の高低には試

第3表 試験 10 年目 (1962 年) の葉および緑枝中の窒素 (乾物当りの N%)

枝葉の 新旧	採取月 日	7月 15日	8月 20日	9月 15日	10月 15日	11月 19日
1961 年 の春葉	試験区					
	リン酸区-I	2.46	2.21	2.48	2.43	2.76
	リン酸区-II	2.34	2.02	2.89	2.44	2.90
	無リン酸区 L.S.D. (5%)	2.44	2.01	2.54	2.40	2.62
1961 年 の春枝	リン酸区-I	1.20	1.38	1.50	1.17	1.96
	リン酸区-II	1.30	1.29	1.55	1.48	1.88
	無リン酸区	1.34	1.49	1.65	1.35	2.03
	L.S.D. (5%)	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
1962 年 の春葉	リン酸区-I	2.47	2.76	3.06	3.12	3.16
	リン酸区-II	2.54	2.70	3.09	2.83	3.29
	無リン酸区	2.59	2.97	3.12	3.17	3.24
	L.S.D. (5%)	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
1962 年 の春枝	リン酸区-I	1.35	1.43	1.71	1.80	1.68
	リン酸区-II	1.38	1.64	1.81	1.81	1.63
	無リン酸区	1.40	1.73	1.93	2.00	1.73
	L.S.D. (5%)	N.S.	0.17	N.S.	N.S.	N.S.

まず、リン酸含量については(第2表)、試料によつて試験区間の含量の高低および含量の差が、採取時期別にきわめて不規則であつた。試験区間の最高の差は、1961 年の春葉では 0.02%, '61 年の春枝、'62 年の春葉および春枝ではそれぞれ 0.04% に達する時期があつた。しかし、試験区間には全く有意差は認められず、供試樹それぞれの間の試料のリン酸含量にはかなりのひらきがあることが認められた。また、5~11 月の期間におけるリン酸含量の変化についても、試験区間にはなほだしい差異はなかつた。

窒素、カリ、石灰および苦土含量について、採取期間

第4表 試験 10 年目 (1962 年) の葉および緑枝中のカリ (乾物当りの K%)

枝葉の 新旧	採取月 日	7月 15日	8月 20日	9月 15日	10月 15日	11月 19日
1961 年 の春葉	試験区					
	リン酸区-I	0.73	0.69	0.72	0.70	0.84
	リン酸区-II	0.64	0.68	0.72	0.69	0.89
	無リン酸区 L.S.D. (5%)	0.77	0.84	0.73	0.77	0.89
1961 年 の春枝	リン酸区-I	0.56	0.39	0.73	0.44	0.56
	リン酸区-II	0.51	0.34	0.73	0.39	0.62
	無リン酸区	0.55	0.38	0.82	0.46	0.57
	L.S.D. (5%)	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
1962 年 の春葉	リン酸区-I	1.72	1.85	1.96	1.62	1.58
	リン酸区-II	1.90	1.91	1.83	1.46	1.75
	無リン酸区	1.77	1.78	1.92	1.32	1.54
	L.S.D. (5%)	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
1962 年 の春枝	リン酸区-I	1.30	0.39	0.86	0.69	0.39
	リン酸区-II	1.42	0.43	0.90	0.89	0.36
	無リン酸区	1.31	0.38	0.77	0.89	0.43
	L.S.D. (5%)	0.05	N.S.	0.12	0.15	N.S.

験区間で一定の傾向がなかつた。苦土の場合は、試験区間に有意差が認められる時期が多かつたが、試験区間で含量の高低が必ずしも規則的な傾向を示すとはかぎらなかつた。

以上のように試験 10 年目の温州ミカンの葉中および緑枝中のリン酸をはじめ窒素、カリ、石灰、苦土の含量には、供試樹間に著しいひらきがあつた。したがつて、これらの分析結果から、リン酸肥料施用の有無によつて、リン酸をはじめ他の無機成分の組成に差異があると判断することは困難であると思われる。

第5表 試験 10 年目 (1962 年) の葉および緑枝中のカルシウム (乾物当りの Ca%)

枝葉の 新旧	採取月 日 試験区	7月 15日	8月 20日	9月 15日	10月 15日	11月 19日
		リン酸区-I	リン酸区-II	無リン酸区	L.S.D. (5%)	
1961 年 の春葉	リン酸区-I	3.81	3.96	4.43	4.00	4.15
	リン酸区-II	4.05	4.21	4.00	3.94	4.25
	無リン酸区	3.67	4.21	4.12	3.76	4.30
	L.S.D. (5%)	0.12	N. S.	N. S.	N. S.	N. S.
1961 年 の春枝	リン酸区-I	1.43	1.44	1.89	1.70	1.85
	リン酸区-II	1.39	1.40	1.78	1.62	2.29
	無リン酸区	1.55	1.59	1.94	1.82	2.07
	L.S.D. (5%)	N. S.	N. S.	N. S.	N. S.	N. S.
1962 年 の春葉	リン酸区-I	1.40	1.73	1.97	2.15	2.67
	リン酸区-II	1.40	1.69	2.07	2.00	2.66
	無リン酸区	1.37	1.92	2.06	2.22	2.72
	L.S.D. (5%)	N. S.	N. S.	N. S.	N. S.	N. S.
1962 年 の春枝	リン酸区-I	0.79	0.69	1.66	1.78	2.08
	リン酸区-II	0.94	0.65	1.41	1.76	1.99
	無リン酸区	0.88	0.70	1.82	2.01	2.29
	L.S.D. (5%)	N. S.	N. S.	N. S.	N. S.	N. S.

第6表 試験 10 年目 (1962 年) の葉および緑枝中のマグネシウム (乾物当りの Mg %)

枝葉の 新旧	採取月 日 試験区	7月 15日	8月 20日	9月 15日	10月 15日	11月 19日
		リン酸区-I	リン酸区-II	無リン酸区	L.S.D. (5%)	
1961 年 の春葉	リン酸区-I	0.26	0.32	0.42	0.31	0.45
	リン酸区-II	0.30	0.34	0.47	0.32	0.31
	無リン酸区	0.29	0.32	0.41	0.29	0.32
	L.S.D. (5%)	N. S.	N. S.	N. S.	N. S.	0.09
1961 年 の春枝	リン酸区-I	0.17	0.32	0.33	0.36	0.37
	リン酸区-II	0.31	0.40	0.38	0.50	0.31
	無リン酸区	0.21	0.35	0.32	0.38	0.33
	L.S.D. (5%)	0.04	N. S.	N. S.	0.05	N. S.
1962 年 の春葉	リン酸区-I	0.49	0.28	0.46	0.44	0.47
	リン酸区-II	0.60	0.45	0.56	0.55	0.46
	無リン酸区	0.50	0.42	0.52	0.46	0.43
	L.S.D. (5%)	0.05	0.06	0.09	N. S.	N. S.
1962 年 の春枝	リン酸区-I	0.35	0.25	0.41	0.45	0.31
	リン酸区-II	0.42	0.29	0.46	0.44	0.36
	無リン酸区	0.34	0.26	0.36	0.38	0.30
	L.S.D. (5%)	0.04	N. S.	0.03	0.04	N. S.

VI. 土壌の化学的性質および土壌リンの Fractionation

コンクリートわくに付めた未耕地土壌の機械的組成および化学的性質は、第7表に示すとおりである。礫は最高径 6~7cm のものから各大きさのものを含み、細土は有機物が少なく、強酸性であつた。試験 10 年目の 1962 年 5 月にわくの一部の土壌を厚さ 5cm ごとに 50 cm の深さまで採取し (ただし敷草が分解して集積した粗腐植層を除く)、化学的性質を分析した結果は、第8表に示すとおりである。試験開始時に比べて変化した点をあげると、有機物の増加が深さ 10~15cm までの土壌に認められ、pH はリン酸区-II の 0~5cm 以外はすべて 4.0 以下に低下した。置換性石灰および苦土は、リン酸区-I および II の 0~5cm が試験開始時と同等

第7表 供試未耕地土壌の理化学的性質 (深さ 0~50cm の平均)

礫 (%)	35.6	pH { $\begin{matrix} \text{H}_2\text{O} \\ \text{KCl} \end{matrix}$	4.5 3.9
粗砂 (%)	15.3	置換酸度 y_1	23.2
細砂 (%)	35.5	C. E. C. (me)*	11.03
微砂 (%)	23.7	置換性 Ca (me)*	3.58
粘土 (%)	18.9	" Mg (me)*	0.97
土性 (国際法)	CL	" K (me)*	0.16
腐植 (%)*	0.93	石灰飽和度 (%)	32.5
有機態炭素 (%)*	0.54	リン酸吸収係数	539
全窒素 (%)*	0.05		
炭素率	10.8		

* 乾土 100g 当りの % または me

またはやや多い含量を示し、これ以外はかなり少なくなつた。ただしリン酸区-II の深さ 10cm 以下の土壌の置

第8表 試験 10 年後の土壌の性質 (1962 年)

試験区 深さ (cm)	リン酸区-I					リン酸区-II					無リン酸区				
	0-5	5-10	10-15	15-20	20-50	0-5	5-10	10-15	15-20	20-50	0-5	5-10	10-15	15-20	20-50
腐植 (%)*	4.65	1.36	1.10	0.83	0.77	4.88	1.66	0.97	0.76	0.78	4.43	1.24	0.97	0.79	0.70
有機態炭素 (%)*	2.70	0.79	0.64	0.48	0.45	2.83	0.96	0.56	0.44	0.45	2.57	0.72	0.56	0.46	0.42
全窒素 (%)*	0.23	0.10	0.07	0.06	0.05	0.24	0.12	0.08	0.06	0.05	0.22	0.09	0.07	0.06	0.05
炭素率	11.7	7.9	9.1	8.0	9.0	11.8	8.0	7.0	7.3	9.0	11.7	8.0	8.0	7.7	8.4
pH { $\begin{matrix} \text{H}_2\text{O} \\ \text{KCl} \end{matrix}$	3.9 3.2	3.9 3.3	3.8 3.2	3.7 3.2	3.7 3.2	4.2 3.7	3.8 3.3	3.7 3.2	3.7 3.2	3.9 3.4	3.8 3.3	3.9 3.3	3.9 3.2	3.8 3.2	3.7 3.2
置換酸度 y_1	7.3	21.4	26.5	32.8	34.6	3.6	20.2	22.1	32.0	29.5	12.5	22.6	28.1	33.7	35.7
C. E. C. (me)*	12.94	11.81	11.05	10.80	10.55	13.34	11.40	10.77	11.24	11.70	13.16	10.40	10.93	11.14	10.82
Exch. Ca (me)*	3.64	1.30	1.17	1.09	1.04	4.20	1.83	1.30	1.56	1.97	2.50	1.01	0.94	0.97	1.02
" Mg (me)*	0.44	0.22	0.34	0.29	0.29	1.34	1.01	0.50	0.54	0.51	0.41	0.33	0.27	0.27	0.33
" K (me)*	0.32	0.17	0.17	0.15	0.16	0.33	0.24	0.18	0.18	0.17	0.30	0.19	0.20	0.17	0.13
石灰飽和度 (%)	28.1	11.0	10.6	10.1	9.9	31.5	16.1	12.1	13.9	16.8	19.0	9.7	8.6	8.7	9.4

* 乾土 100g 当りの % または me

** 深さ 5cm ごとの土壌の分析値の平均

換性苦土は、試験開始時とほぼ同等の含量であつた。置換性カリは深さ 5cm 以下では試験開始時とあまり大差がなかつた。

つぎに、CHANG and JACKSON の方法⁽³⁾にしたがつて、土壌リンの fractionation 分析を行なつた結果は、第1～5図に示すとおりである。なお reductant soluble iron P, ならびに occluded aluminum P および iron P には試験区の間で大差がなかつたので、これらの表示は省略した。

第1図 NH_4Cl 可溶リン

まず、 NH_4Cl 可溶リン (第1図) は、0～5cm の土壌を除けば、25cm の深さまでリン酸区-I がもつとも多かつた。25cm 以下の土壌では各試験区ともこん跡程度にすぎなかつた。aluminum P (第2図) は、リン酸区-I および II

の 0～5cm が著しく多く、5cm 以下は下層になるにしたがつて漸減し、30cm 以下は無リン酸区とほとんど差がなくなつた。リン酸区-I と II との aluminum P は、0～5cm では II が、10～15cm では I が目立つて多くなつていた。iron P (第3図) は、深さ 25cm 以下の土壌では試験区間で大差がなく、また 10～25cm の土壌でも aluminum P のようにはリン酸区と無リン酸区に間に差がなかつた。しかし、0～5cm のリン酸区と無リン酸区とでは大差があり、10～15cm のリン酸区-I と無リン酸区とでもかなりの差があつた。calcium P (第4図) は、0～5cm でリン酸区-II が著しく多くなつていゝことを除けば、5～15cm では aluminum P および iron P のように著しい差がなく、15cm 以下では試験区の間でほとんど差がなかつた。以上のように calcium P に顕著な差がないことは、置換性石灰にはなほだしい相違がなかつたことに原因するものと考えられる。

total P (第5図) は、aluminum P とほぼ同様な土壌中の分布傾向を示した。すなわち、深さ 30cm 以下の土壌の total P は、リン酸区と無リン酸区とでほとんど差がなく、施用したリン酸肥料の移動は深さ 25～30cm の土壌までであり、この間の土壌に大部分が固定されたものとみなすことができる。無リン酸区の土壌中の全リ

第2図 アルミ-リン (Al-P)

第3図 鉄-リン (Fe-P)

第4図 石灰-リン (Ca-P)

第5図 全リン (Total P)

ン酸の分布は、一応ほぼ垂直的に変化がないものと予想された。しかし、実際には無リン酸区の total P は、0~30cm の土壌で下層になるにしたがつて漸減し、この傾向は aluminum P も同様であつた。かかる total P の分布は、多分敷草材料（このほかに落葉などの材料も含まれる）が分解し、これより遊離したリン酸の移動に原因するものと推察される。したがつて、リン酸施用区の深さ 0~30cm の土壌中のリン酸についても、敷草材料から由来したものが含まれているものと思われる。

V. 考 察

カンキツの果実に対するリン酸肥料の効果に関しては、リン酸の供給が不足すれば、果皮の着色は良くなるが粗厚になり、果汁中の酸が増加することが明らかにされている^(10,20)。また葉中のリン酸含量の高低の度合によつて、その過不足の range がかなりめいりように分けられる⁽⁴⁾。実際のカンキツ成木園においては、土壌中のリン酸が欠乏し、樹がリン酸欠乏症を呈する園はきわめてまれにしか認められないようである。ALDRICH ら⁽¹⁾および EMBLETON ら^(5,6)が California 地方のオレンジ園について報告しているように、リン酸肥料施用の反応が顕著に現われる場合は、土壌中の全リン酸がきわめて少なく、樹がリン酸欠乏を示している園である。わが国における温州ミカン成木についてのリン酸肥料の試験成績は従来からきわめて少なく、本報の初めにあげた成績⁽¹²⁾が公表されているにすぎない。アメリカのオレンジ成木園における長年月にわたるリン酸肥料の試験結果をみると、次の傾向が認められるようである。

すなわち、PARKER ら⁽¹⁴⁾および JONES ら⁽⁸⁾は California Riverside における 20 年間にわたる Washington navel orange の肥料試験について、無リン酸区の収量は 3 要素区に比べて減少しなかつたことを報じている。試験 19 年目の無リン酸区の果実の品質も、3 要素区に比べてはなはだしい差異がなかつた。ただ果汁中の酸は、土壌管理として被覆作物法を行なつていた場合には、有意差は認められなかつたが無リン酸区のほうがや

や多かつた。しかし、これも被覆作物管理を実施していない場合には、全く差がみられなかつた。

つぎに REUTHER ら⁽¹⁷⁾は、Florida の砂質土壌 (Lakeland fine sand) の Valencia orange 園（過去にリン酸肥培の履歴がある）における 6 年間のリン酸施用量試験について、年間 1 樹当り P_2O_5 施用量が 180~250g, 450~770g および 1,180~2,040g のそれぞれの過リン酸石灰施用区に比べて、無リン酸区の収量が減少しなかつたことを報じている。そしてリン酸多量区は、試験 6 年目の幹面積の増大割合からみれば、むしろ樹の生育は劣つていた。試験 4~5 年目の無リン酸区の葉中のリン酸含量は、リン酸施用区に比べてわずかに低い、CHAPMAN⁽⁴⁾が要約した葉中のリン酸含量の range に照合すると、satisfactory にはいつている。また果汁中の酸含量は、試験 5 年目では有意差がなく、6 年目には無リン酸区がきわめてわずかながら高い傾向であつた。また、SMITH ら⁽²³⁾は、20 年間継続された Pineapple orange に対するリン酸施用量試験で、樹の生育および果実の収量にはリン酸施用量によつてほとんど差がなく、果実の品質も試験を開始してから 10~12 年の間は相違がなく、葉および土壌の分析結果から判断して、樹がリン酸欠乏を起す可能性がないことを明らかにした。

以上の試験結果とは直接には比較できないが、愛媛県果樹試験場において 1946 年から行なつた温州ミカン成木（試験開始前 6 年間は無肥料または窒素肥料だけで栽培）に対するリン酸肥効試験の結果の 1 部を示すと、第 9 表のとおりである。試験園の土壌は、深さ 35~40cm 以下は堅いち密な土層で、小~細根群は大部分が深さ 25~30cm までの有機物の少ない土壌に分布していた。6 か年間の合計収量は、年間 1 樹当り P_2O_5 400g 施用区が多いが、統計的には無リン酸区と差がなかつた。果皮が完全に着色し、中庸な大きさの果実（横径 6.0~6.5cm, 重量 100~120g）の果汁中の酸含量は、 P_2O_5 400g 施用区が試験 4~6 年目の 3 か年を通じて低く、200g 施用区と無リン酸区とでは差がなかつた。すなわち、この

第 9 表 温州ミカン成木に対するリン酸肥料の影響*（愛媛果試）

試 験 区 (年間 1 樹当りの リン酸施用量)	果実収量 (1 樹平均, kg)							果汁中のクエン酸 (g/果汁 100ml)		
	1947年	1948年	1949年	1950年	1951年	1952年	計	1949年	1950年	1951年
無 リ ン 酸 区	41.6	46.9	41.6	40.9	37.9	38.3	247.2	1.46	1.16	0.98
P_2O_5 200g 区	27.8	54.4	42.8	44.6	33.0	40.9	243.5	1.45	1.18	0.98
P_2O_5 400g 区	43.5	53.3	48.8	51.4	39.8	37.1	273.9	1.21	1.04	0.89

* 傾斜 10~15 度の洪積台地の階段園。1947 年 27 年生の尾張系温州ミカン。各区 6 本の供試樹。年間 1 樹当り N 400g (3 月 50%, 6 月 25%, 11 月 25%), K_2O 300g (25%, 50%, 25%), P_2O_5 (40%, 40%, 20%)。硫酸、過リン酸石灰および硫酸カリを使用。土壌管理は清耕法。

試験においてもリン酸肥料施用の有無が、温州ミカン成木の収量に著しい相違をもたらさなかつた。この試験においては葉分析を行なわなかつたため、 P_2O_5 400g 施用区の果汁中の酸が少なくなつたのは、はたしてリン酸肥料施用の影響によるものかどうかは、判断できない。ただ供試した温州ミカンの肥培前歴は、従来からリン酸肥料の施用が少なく、かつ試験前6年間は無リン酸で栽培されていた。このことから推察すれば、リン酸肥料施用の影響が間接的にも果実などに現われる場合もあることが想像される。

本報文の未耕地土壌を用いて10年間のリン酸肥料の影響をしらべたわく試験においては、リン酸区-I (過リン酸石灰施用区) の試験8年目以降の樹容積が小さくなつたことを除けば、リン酸肥料施用の有無は、温州ミカンの生育、収量および果実の品質に有意的な差をもたらさなかつた。さきに掲げた Florida におけるオレンジのリン酸試験について、SMITH⁽²⁴⁾ はリン酸肥料の effective または beneficial response を認めることができないと指摘しているが、本報文の試験においてもこれと全く同様なことが言える。

葉分析については、たとえば REUTHER ら⁽¹⁷⁾ は葉中のリン酸含量 (乾物当りの P%) を 0.01% (1% 水準の L. S. D.) および 0.007% (5% 水準) で、無リン酸区はリン酸多量区より低くなる場合があることを報じている。これに比べれば、本報文の葉分析は、リン酸含量の差が 0.02~0.04% あつても有意差を示さなかつたし、また無リン酸区のリン酸含量が低くなる結果を示さなかつた。それで本報文の葉分析の結果については、一応はリン酸肥料施用の影響を認めることができないと結論できであろうが、分析の精度がかなり低いことを考慮すれば、さらに検討の余地があるであろう。

つぎに SMITH⁽²⁴⁾ によれば、Florida において13年間継続された Pineapple orange のリン酸施用試験で、リン酸多量区 (試験開始時の1942年ではその地方の慣行施用量、過リン酸石灰施用) の深さ30cmまでの土壌には、リン酸が著しく蓄積し、fibrous feeder root の量がリン酸中量区および無リン酸区に比べてきわめて少なくなつたことが明らかにされている。これに準じて本報文のリン酸試験のわく土壌中の細根群 (径2mm以下) の分布を調査した結果を示すと、第6図のとおりである。すなわち、リン酸区-II (焙成リン肥施用) と無リン酸区とでは、深さ50cmまでの土壌中の細根群の分布には著しい差異がなかつた。これらに比べると、リン酸区-I (過リン酸石灰施用) では、深さ30cmまでの土壌中の細根群の分布がかなり少ない傾向がめいりように認め

第6図 土壌中の細根の分布 (試験開始10年後、1962年)

* 45cm 平方の面積、厚さ5cm ごとの土壌容積中の細根の量 (新鮮重)

合計量: リン酸区-I 145g, リン酸区-II 243g, 無リン酸区 214g

られた。すなわち、リン酸区-Iの深さ30cmまでの土壌中の細根群の分布傾向は、SMITHの調査結果ときわめてよく似ていた。そこでかかる根群の減少を、さらに確めるため、温州ミカン幼木についてリン酸施用量 (過リン酸石灰) の実験を行なつた結果は、第10表に示すとおりである。

砂質土の花崗岩風化土壌において、土壌に対し P 1,000 ppm のリン酸施用量で根群の生育が劣り、新梢の発育も不良になつた。しかし、この実験において、翌年の新梢の発育状態には、リン酸施用量の違いによつて全く差異がないことが観察された。RASMUSSEN ら⁽¹⁶⁾ はオレンジ実生を用いた同様なポット実験で、かかる根群の生育被害は、acidulated phosphates 中の free acid PO_4 に原因し、この成分の量および溶脱の速さなどの違いによつて被害の程度が異なることを明らかにしている。また佐藤ら⁽²²⁾ は、温州ミカン幼木の砂耕試験で、窒素が低濃度 (N 10 ppm) およびリン酸が高濃度 (P 20 ppm) のときは、とくに根がいたんで細根の発育が著しく劣り、樹の生長が不良になつたことを報じている。以上のことから判断すれば、リン酸区-Iの深さ30cmまでの土壌中の細根群の減少は、後述するように施したリン酸の土壌中の移動が深さ25~30cmまでに顕著に認められたことと照合して、過リン酸石灰の施用量ならびにその連用原因しているものと推察される。なおリン酸区-Iの細根群の減少が試験8年目以降の樹容積が小さくなつたことに直接の関係があるかどうかは不明であり、樹容積が小さくなつたのは他の間接的な要因の影響によるも

第 10 表 温州ミカン幼木の生長に及ぼす過リン酸石灰施用量の影響

母岩	土 性	供 試 樹 pH(H ₂ O)	土 壤 置換酸度 y ₁	リン酸 吸収係数	リン酸施用量 (乾土に対する P ppm)	土壤の pH (移植時 —10日後)	移植 4 か月後の生長 (g/樹)		
							地下部	地上部	合計
花崗岩	粗砂壤土	5.2	2.1	250~300	0	5.2~5.3	95	126	221
					200	4.1~4.9	113	122	235
					500	4.0~4.6	92	125	217
					1000	3.6~4.2	75	80	165

注 1. 供試樹:普通温州ミカン南柑 4 号, 3 年生

注 2. 供試樹は過リン酸石灰を土壤と混合した直後に移植

のであるかもしれないので, さらに検討しなければならない。

ミカン園土壤における施用リン酸の移動分布について, たとえば上村・船引⁽⁹⁾は愛媛県果樹試験場において 7 年間継続された温州ミカンのライシメーター試験の土壤断面のリン酸の分布を調査し, 施用したリン酸の土壤中の移動は, 深さ 25~30cm までであつたことを明らかにしている。さらに筆者らのうち坂本・奥地⁽¹⁸⁾が行なつたミカン園土壤の調査結果は, 深さ 5~15cm と 20~30cm の土壤とでは, 0.2N-HCl 可溶リン酸にかなりの差があり, 土壤中のリン酸分布にきわめてはなはだしい高低があることを示唆していた。また PRATT ら⁽¹⁵⁾は, 28 年間継続されたオレンジの肥料試験について, 無リン酸区に比べてリン酸施用区の土壤中の全リン酸の集積は, 0~15cm にきわめて著しく, 15~30cm では 0~15cm の約 3 分の 1 に減少し, 30cm 以下ではあまり集積が認められないと報じている。本報文の土壤中の全リン酸の分布も, 0~5cm あるいは 0~10cm で施用リン酸の集積が著しかった傾向を示し, 深さ 10cm から 30cm までの土壤に施用リン酸が移動した傾向は明らかであつたが, 下層に向うにしたがつて集積の減少割合は著しかった。したがつて, 以上の成績ならびにさきに述べた SMITH の結果と本報文の結果とは, きわめてよく一致した傾向を示しているとみなすことができる。

ミカン園土壤において, 特別な砂質土の場合および礫に富んで非毛管孔隙が発達している場合のリン酸の物理的な移動を除けば, 施されたリン酸の大部分は表層の土壤に固定されるものと思われる。筆者らの 1 人坂本⁽¹⁹⁾が, 母材を異にした各種の土壤を用いて温州ミカン幼木のポット試験を行なつた土壤の分析結果からも, 以上のことはかなりはつきりと認められた。したがつて, かかる表層の土壤に固定されたリン酸の温州ミカンに対する肥効, または本報文の無リン酸区において示されたような温州ミカンの土壤リンの吸収などについては, 今後さらに検討究明されなければならない問題を残している。

VI. 摘 要

縦 1.8m, 横 1.8m, 深さ 1m のコンクリートわくに中生層白堊紀砂岩の風化した未耕地土壤をつめ, 3 年生の普通温州ミカン (南柑 4 号) を供試して, 1953 年からマルチ管理 (敷草) のもとでリン酸肥料試験を 10 年間継続した。試験区はリン酸区-I (過リン酸石灰施用), リン酸区-II (熔成リン肥施用) および無リン酸区の 3 区で, 試験 10 年目の葉中の無機成分組成ならびに土壤リンについて分析し, 温州ミカンに対するリン酸肥料の影響を考察した。

1. 供試温州ミカンの樹の生育, 収量および果実の品質を, 試験 7~8 年目の幹径および樹容積, 1956~'61 年の期間の 1 樹当りの収量合計, 試験 6~8 年目の果汁中の糖および酸の含量, ならびに 8 年目の収穫果の着色調査などの結果からみると, リン酸区-I の樹容積が 8 年目より小さくなつたことを除けば, 他は試験区間で差異がなかつた。

2. 試験 10 年目の 5 月から 11 月までの各月に採取した新旧葉 (10 年目の春葉および 9 年目の春葉) ならびに新旧緑枝 (10 年目の春枝および 9 年目の春枝) 中のリン酸含量には, 試験区間に差がなく, また 5~11 月の期間の含量の変化にも試験区で一定の傾向がなかつた。

3. さらに, 新旧葉および新旧緑枝中の窒素, カリ, 石灰および苦土の含量についても, 全くリン酸含量と同じ傾向であつた。しかしながら, いずれの無機成分の含量にも供試樹間のひらきが大きく, 分析精度の低いことを考慮すれば, リン酸施用の有無と樹体内の無機成分との関係については, さらに検討の余地がある。

4. 試験 10 年目のわく土壤は, 10 年の間石灰などを全く施用しなかつたため, 各試験区とも pH(H₂O) 4 以下に低下した。土壤リンの形態は, 深さ 30cm までの土壤中で, 無リン酸区に比べてリン酸施用区の aluminum P, iron P および total P が多くなり, これらのリン酸は深さ 0~30cm の範囲内の土壤で施用リン酸の移動を示すような集積分布であつた。無リン酸区の

0~30cm の土壌には、マルチ材料から由来したと思われるリン酸の集積分布が、aluminum P, iron P および total P に認められた。他の形態の土壌リン、ならびに深さ 30cm 以下の土壌リンには、試験区間ではほとんど差がなかった。なお、リン酸区-I の深さ 0~30cm の土壌中の細根群の減少が著しく、これは過リン酸石灰の施用量および連用が原因であると推察された。

5. 以上の結果から判断すれば、10 年間の本試験では、温州ミカンに対するリン酸肥料の施用の効果がほとんど認められなかった。したがって圃場に生育する温州ミカンに対するリン酸肥料の施用については、今後さらに検討究明されなければならない問題のあることを示唆した。

引用文献

- ALDRICH, D.G. and J.R. BUCHANAN. 1954. Soil phosphorus supply in healthy and phosphorus deficient citrus orchard in southern California. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 63: 32~36.
- 浅見与七. 1951. 果樹栽培汎論土壌肥料編. 161~192. 養賢堂.
- CHANG, S.C. and M.L. JACKSON. 1957. Fractionation of soil phosphorus. *Soil Sci.* 84: 133~144.
- CHAPMAN, H.D. 1960. Leaf and soil analysis in citrus orchards. *Calif. Agri. Exp. Sta. Extension Service. Manual* 25: 1~53.
- EMBLETON, T.W., J.D. KIRKPATRICK, W.W. JONES, and C.B. CREE. 1956. Influence of applications of dolomite, potash, and phosphate on yield and size of fruit and on composition of leaves of Valencia orange trees. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 67: 183~190.
- EMBLETON, T.W., W.W. JONES, and J.D. KIRKPATRICK. 1956. Influence of application of dolomite, potash, and phosphate on quality, grade, and composition of Valencia orange fruit. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 67: 191~201.
- 岩崎藤助. 1963. 柑橘栽培要説. 232~262. 養賢堂.
- JONES, W.W. and E.R. PARKER. 1951. Effects of nitrogen, phosphorus, and potassium fertilizers and of organic materials on the composition of Washington Navel orange juice. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 53: 91~102.
- 上村親士・船引真吾. 温州ミカンのライシメータ試験について(第5報). 土壌中のリン酸の行動. 土肥誌投稿中.
- 小林 章. 1958. 果樹の栄養生理. 249~276. 朝倉書店.
- 円木忠志・船上和喜・奥地 進. 1964. 温州ミカンに対する 10 年間のリン酸施肥の影響について(第1報). 樹の生育, 収量および果実の品質について. 昭和 39 年園芸学会春季大会研究発表要旨. 52.
- 松岡仲助. 1927. 温州蜜柑に対する肥料種類試験成績表. 園芸講演集. 88~91.
- 中間和光他. 1962. 温州ミカンに対する磷酸質肥料の影響について(第2報). 夏肥として成木に施された磷酸の行動. 園学雑. 31(2): 109~114.
- PARKER, E.R. and W.W. JONES. 1951. Effects of fertilizers upon the yields, size and quality of orange fruits. *Calif. Agri. Exp. Sta. Bul.* 722.
- PRATT, P.F., R.B. HARDING, W.W. JONES and H.D. CHAPMAN. 1959. Chemical changes in an irrigated soil during 28 years of differential fertilization. *Hilgardia* 28: 381~420.
- RASMUSSEN, G.K. and P.F. SMITH. 1959. Pot studies on the effect of superphosphates on the growth of citrus seedlings. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 72: 71~75.
- REUTHER, W., F.E. GARDNER, P.F. SMITH, and W.R. ROY. 1948. A progress report on phosphate fertilizer trials with oranges in Florida. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 61: 44~60.
- 坂本辰馬・奥地 進・宮崎政光・薬師寺清司. 1962. 柑橘園土壌の化学的性質, 愛媛果試研報. 2: 35~45.
- 坂本辰馬. 1963. 温州ミカン園の土壌ならびにその管理に関する研究. 愛媛果試研報. 3: 66~75.
- 佐藤公一. 1962. 果樹の施肥と土壌. 65~100. 朝倉書店.
- . 1957. 果樹の葉分析法, 作物試験法 337~353.
- . 石原正義・栗原昭夫. 1958. 果樹葉分析に関する研究(第18報). 温州ミカンの葉分析に及ぼすNとPの相互関係. 農技研報. E. 7: 1~16.
- SMITH, P.F., G.K. SCUDDER, JR., and G. HRNCIAR. 1963. Twenty years of differential phosphate application on Pineapple oranges. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 76: 7~12.
- SMITH, P.F. 1956. Effect of phosphate fertilization on root growth, soil pH, and chemical constituents at different depths in an acid sandy Florida citrus soil. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 69: 25~29.
- 高橋郁郎. 1958. 柑橘. 307~310. 養賢堂.
- 薬師寺清司. 1962. 柑橘栽培新説. 229~236. 養賢堂.