

カンキツの生育障害と無機成分との関係

3. 培養液の pH が温州ミカン幼樹の生育ならびに葉成分含量に及ぼす影響

中 島 芳 和 ・ 安 達 義 正*

(農学部果樹園芸学研究室)

Relationships between Growth Injury of Citrus Trees and Inorganic Elements.

3. Effect of the pH of culture solution on the growth and leaf composition of young Satsuma orange trees cultured by subspray method.

By

Yoshikazu NAKAJIMA and YOSHIMASA ADACHI

(Laboratory of Pomology, Faculty of Agriculture)

Summary

1. Two year-old Satsuma orange trees were grown on the nets spread in a wood box by subspray method from July 1 to October 10, 1965.

The effect of pH values ranging from 2.5 to 6.5 on the growth and leaf composition was investigated.

2. The plants at pH 4.5 or 5.5 were larger and those at pH 2.5 were smaller than those at pH 3.5 or 6.5.

At pH 2.5, the branches was very poor in number and the new roots were almost dead, and the new roots at pH 3.5 and 6.5 were partially dead.

3. The contents of total N, protein-N and P in the leaves were less at pH 3.5 and 6.5 than at pH 2.5.

The contents of Ca and Mg in the summer leaves were higher at pH 4.5 and 5.5 than at the others and seemed to increase with the increase in tree vigour.

The phosphate and magnesium contents in the summer leaves were higher than in the spring leaves, and the contents of K, Ca, Mn and Cu in the leaves showed the reverse tendency.

I. 緒 言

植物の生育に及ぼす pH の影響については数多くの研究が行われている^(1, 2, 3, 4, 5)。Hoagland⁽⁶⁾ はオオムギが pH 3.0~3.5 で激しい害作用をうけ、3.0~4.0 または 8.5~9.0 で生育のかなり劣るのをみている。一方、Guest 等⁽⁵⁾ は sweet orange の実生について、健全な生育を示す pH の範囲はほぼ 4.0~9.0 であるとしている。

* 徳島県果樹試験場

砂耕法や礫耕法による温州ミカンの栽培では、培地の緩衝能が高いために、根部に所定の pH 値を与えることが容易ではない⁽¹⁰⁾。そこで培養液を根部に直接噴霧して樹体の生育を促し、pH 値を出来るだけ狭くしてその直接的影響を検討した。

この実験を行なうにあたって、吉村不二男教授に種々の御便宜をうけ、門田寅太郎教授には噴霧法について御教示を賜った。また、実験準備のために高知県農業改良普及所中島庸策技師、高知県農業講習所講習生岡崎忠義、山岡照夫、島本総一の諸氏に御協力をいただいた。ここに合せて厚く御礼を申し上げる。

II. 材料および方法

1965年、7月1日、地上部の二次生長がまもなく始まろうとする二年生温州ミカン（宮川早生）を、第1図のような自動噴霧装置を備えた木箱の中に移植した。木箱にはビニールシートをはり、供試樹を等間隔に4本つるし、その直ぐ下に小形噴孔をつけて培養液を噴霧した。木箱の底にたまった培養液は噴霧が停止すると同時に自動的に貯水ビンに還流するようにした。噴霧は15分ないし30分間隔で行ない、噴霧圧力は $0.5\sim 0.7\text{ kg/cm}^2$ とした。7月1日から10日間は pH 無処理の水道水を送り、7月11日から所定の pH に調整した培養液を送った。培養液の更新は毎日行ない、同時に HCl および NaOH を用いて pH を調節した。pH 調整に要する 1 N HCl および 1 N NaOH 量は第2図のごとくであった。

培養液の濃度はほぼ $\text{NO}_3\text{-N}$ 100 ppm, P 20 ppm, K 80 ppm, Ca 103 ppm, Mg 20 ppm でそのほかに微量要素を適度に加えてある⁽¹⁰⁾。培養液の温度を下げるために貯水ビンの表面に水道水をかけ流した。噴霧処理は同年10月10日で打ち切り、直ちに採葉して春葉、夏葉に分けて乾燥後、細かく粉砕して化学分析の試料とした。夏葉は樹別に試料を作った。葉分析の方法は次のとおりである。

Total N; Semimicro Kjeldahl 法, Protein-N; Trichloroacetic acid 法, $\text{NO}_3\text{-N}$; Phenoldisulfonic acid 法, P; Molybdenum blue 法, K; Flame photometer 法, Ca, Mg; Chelate titration 法, Mn; Ammonium persulfate 法, Cu; Diethyldithiocarbamate 法, Polysaccharide, Total sugar および Reducing sugar; Haffner Somogy 法, Cl; L. W. Winkler 法。

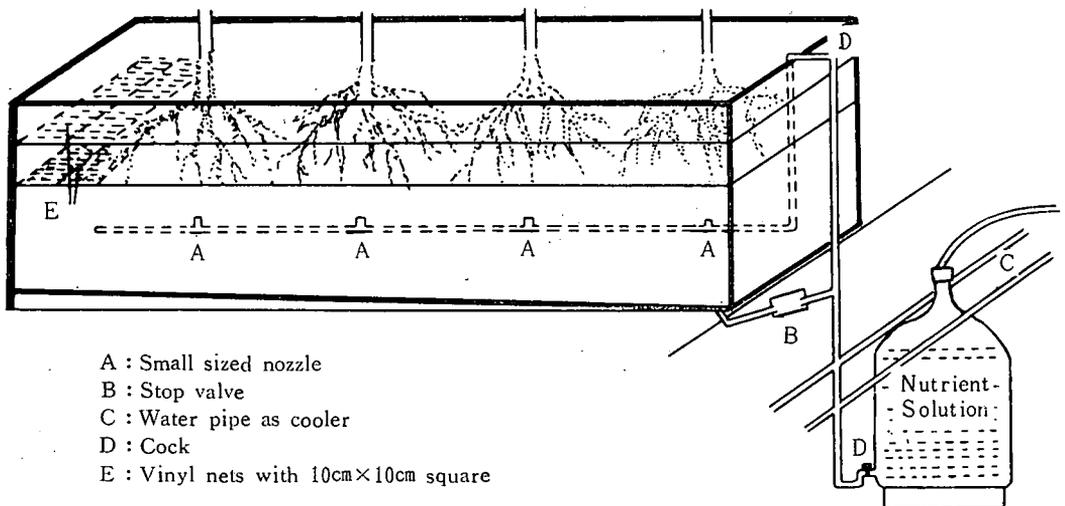


Fig. 1. Essential features of automatic subspray equipment.

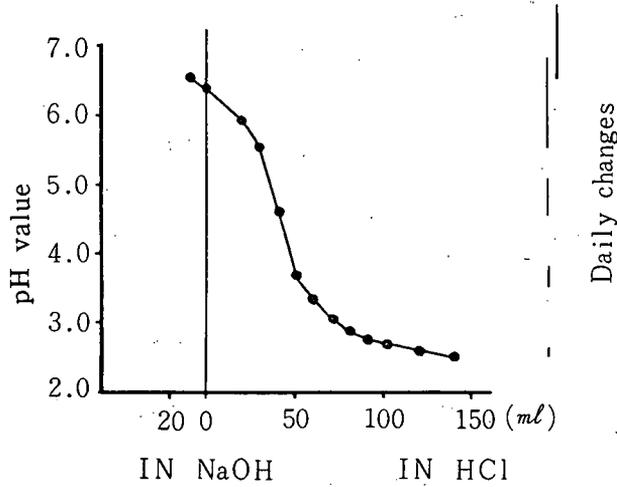


Fig. 2. The pH values of culture solution with the addition of different volumes of HCl or NaOH to the 24 liter of culture solution.

III. 実験結果

実験期間中の午前9時におけるガラス室内の気温および木箱の中の温度は第3図のごとくであった。根部温度は7月および8月中旬まではほぼ25~28°C、9月以降は20~25°Cの間にはいる場合が多く、最高温度の最大値は32°Cで、一昼夜の温度較差は最高10°Cであった。1日を経過した培養液のpHは処理期間中、最高で2.5~2.6、3.5~3.8、4.5~5.1、5.5~6.8、6.5~7.5と変化した。

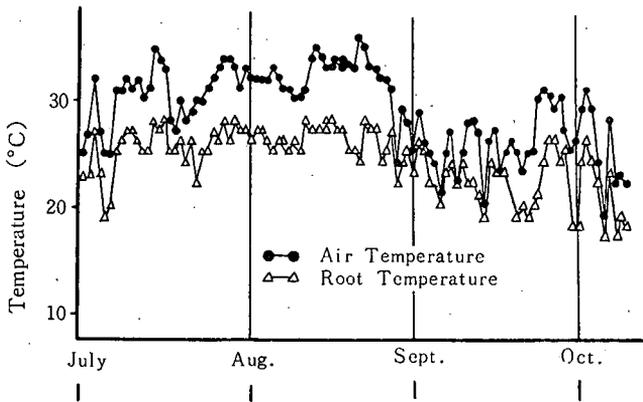


Fig. 3. Daily changes in air and root temperatures during the experiment.

1. 樹体の生育に及ぼす影響

栽植後まもなく新根が伸び始めた。つづいて7月10日を過ぎる頃から地上部の発芽がはげしくなり、pH 2.5区を除いて各処理区とも、栽植後40日位まで新梢が活発に伸長した。pH 4.5区および5.5区の新葉は比較的早く緑化し、栽植後100日頃になるとこの両区は再び発芽を始めたが、その他の処理区では発芽する気配は全く認められなかった。pH 2.5区では、培養液を送り始めてから萌芽したものは大部分黒変枯死した。したがってpH 2.5区の枝梢数は他区に較べて極端に少なくなった。

新梢伸長量は pH 2.5 区を除いて各区に有意差は認められなかったが、pH 5.5 区、4.5 区に比べて pH 3.5 区、6.5 区はやや劣るようであった。

生体重量の増加は pH 4.5 区および 5.5 区が最高で pH 2.5 区は負の値を示した。

新根の発生は地上部の伸長に先んじたが全体に伸びは短かく、やや褐変する傾向であった。pH 2.5 区の新根はほとんど枯死し、更に pH 3.5 区、6.5 区の新根にもいくらか枯死したものがみられた。新根の大きいものを 10 本を選んで、それらの総伸長量を比較したが、pH 4.5 区および 5.5 区が最大であった。

2. 葉成分含量に及ぼす影響

N 成分の中、total N および protein-N は春葉、夏葉ともいずれも pH 2.5 区、4.5 区、5.5 区が pH 3.5 区、6.5 区に比べて高い値を示した。NO₃-N については処理間、または春葉、夏葉の間に一定の傾向は認めにくい。

P は各処理区とも新葉に多く含まれ、中でも pH 2.5 区および 4.5 区の夏葉が最高値を示し、pH 6.5 区が最低であった。

K は P とは逆に夏葉よりも春葉における含量が大であった。処理間では春葉、夏葉とも pH 5.5 区が最高で、次いで 6.5 区、4.5 区の順となり pH 3.5 区が最低であった。

Ca は各処理区とも春葉が夏葉より高く、また両葉とも pH 4.5 区が最高で次ぎに 5.5 区、6.5 区、更に 3.5 区となり pH 2.5 区が最低であった。

Mg は pH 2.5 区を除いて各処理区とも春葉よりも夏葉に多く含まれる傾向であり、夏葉についてみれば pH 2.5 区、3.5 区は他区に比べて低い傾向であった。

Mn は全般に春葉が夏葉よりも高かった。春葉における pH 2.5 区、3.5 区の含量は他の処理区に比べて、やや低い傾向であり、夏葉についても pH 3.5 区は pH 4.5 区、5.5 区、6.5 区よりもやや低い値を示した。

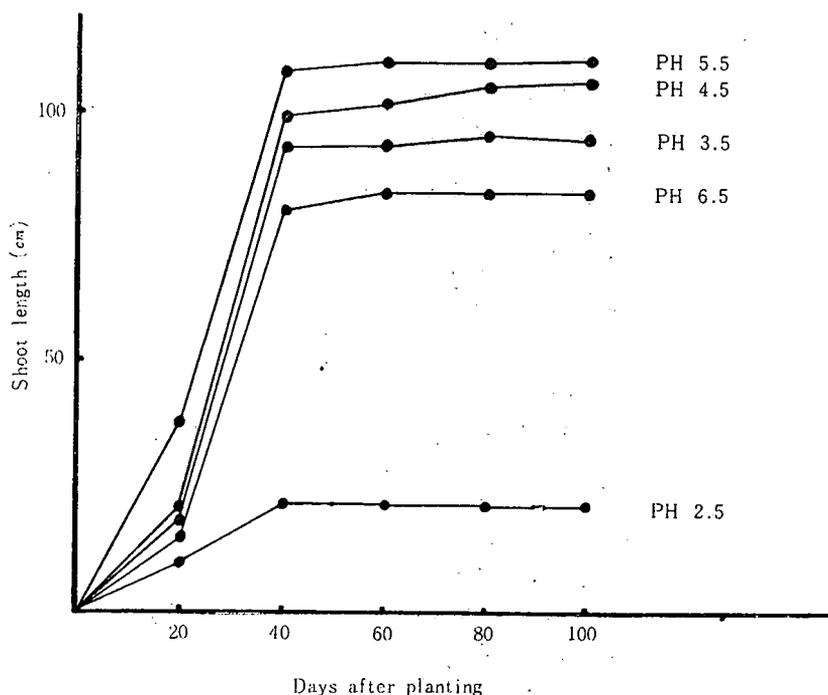


Fig. 4. Seasonal changes in shoot length of young Satsuma orange trees.

Cu は春葉が夏葉よりも多く含まれる傾向で各処理間の差は判然としていない。

還元糖は各処理区とも春葉より夏葉の方に多く含まれ、全糖は還元糖とは逆に新葉の含量が大きい傾向を示した。両成分とも pH 処理の影響は明瞭でなかった。多糖類は葉の新旧による相違は認めにくい pH 4.5 区, 5.5 区が他区より低いようであった。

Table 1. Effect of the pH of culture solution on the growth of young Satsuma orange trees cultured by subspray method.

	Prior to planting		Increase in*	Shoot*	Number of*	Elongation of**
	Fresh Wt.	Soot length				
			Fresh weight	Length	Shoots	Main tap roots
			g	cm		cm
pH 2.5	146	83	-14.2	21.1	2.0	39.8
3.5	142	76	12.2	95.0	12.2	43.0
4.5	131	89	70.8	106.2	11.0	110.0
5.5	141	83	62.5	110.8	11.0	91.0
6.5	145	92	20.8	83.8	10.0	52.0
LSD 0.05	25.9	21.3	12.2	54.9	5.9	20.7
Reference						
Sand culture pH (5.5)	141	92	110.5	98.8	6.8	153.5

* The average of 4 trees from July 1 to October 10.

** The amount of 10 roots.

Table 2. Effect of the pH on the leaf composition of young Satsuma orange trees.

pH	Total N(%)		Protein-N(%)		NO ₃ -N(%)		P (%)		K (%)		Ca (%)	
	Spr.	Sum.	Spr.	Sum.	Spr.	Sum.	Spr.	Sum.	Spr.	Sum.	Spr.	Sum.
2.5	3.62	3.32	1.35	1.18	0.05	0.04	0.17	0.21	1.75	1.16	1.52	0.54
3.5	2.43	2.90	0.92	1.09	0.03	0.03	0.15	0.18	1.64	1.13	1.72	1.08
4.5	3.43	3.49	1.77	1.85	0.04	0.05	0.15	0.21	2.12	1.51	2.48	1.80
5.5	3.16	3.06	1.56	1.56	0.03	0.03	0.15	0.18	2.20	1.80	1.94	1.48
6.5	2.73	2.30	1.18	0.97	0.04	0.03	0.14	0.14	2.15	1.58	1.80	1.22
LSD .05	—	0.33	—	—	—	—	—	0.02	—	0.19	—	0.08
pH	Mg (%)		Mn (ppm)		Cu (ppm)		Reducing Sugar(%)		Total Sugar (%)	Polysaccharide (%)		
	Spr.	Sum.	Spr.	Sum.	Spr.	Sum.	Spr.	Sum.		Spr.	Sum.	
2.5	0.17	0.14	73	—	28	—	1.10	2.32	3.40	2.97	18.6	10.2
3.5	0.18	0.18	70	53	22	12	1.05	3.08	5.47	3.92	14.8	13.3
4.5	0.17	0.29	85	70	28	10	1.70	2.11	3.64	3.24	7.3	10.5
5.5	0.19	0.40	98	60	25	22	1.84	2.27	4.19	3.78	8.3	9.9
6.5	0.22	0.35	85	58	25	12	1.43	2.43	6.01	2.70	12.2	13.5
LSD .05	—	0.13	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Spr ; Spring leaves, Sum ; Summer leaves

IV. 考 察

温州ミカンの一次生長あるいは二次、三次生長は一般に地上部が地下部より1ヶ月ないし1.5ヶ月先行するようである⁽¹⁴⁾。本実験の供試樹は栽植時すでに春枝の充実がみられ、それぞれ夏芽伸長の前徴を示していた。栽植後、地上部にさきがけて新根が伸び始めたが、時期的にみて、新根は

まだ一次生長の最中であつたものと思われる。

Chapman 等⁽⁴⁵⁾ が報告しているように、水耕による新根の発生は圃場あるいは砂耕のそれに比べて、伸長量が少なく肉太でしかも褐変の速度が早いようであつた。

Pearse はリンゴの水耕試験を行ない、spray method による根の生育は bubbling method、circulating method に比べて、かなり正常に近かつたと述べている⁽⁴¹⁾。更に初期の樹体の生育が spray method よりも bubbling method ですぐれた理由として、噴霧が時々中断し、そのため根が部分的に乾いたことをあげている。

本実験で噴霧時間を15分ないし30分間隔にとり、やや根を乾かせるくらいがあつたことや、一時的ではあるが噴孔がごみでつまり、噴霧が部分的に片寄つて根を乾せたことなどが根の正常な發育を阻害したものと考えられる。

一方、地上部の生育のうち、1樹当たりの枝梢伸長量は pH 2.5 区を除いて砂耕法と大差はみられなかつたが、1枝梢当たりの伸長量、枝梢の大きさ、葉の大きさは全体に噴霧法が小さく、生体重の増加量も砂耕法に及ばなかつた。新根の発達とそれに伴う養分吸収量の相違が樹体の充実に差を与えたものと思われる。

樹体の生育と pH との関係

pH 2.5 区において、栽植後 pH 処理までの10日間に発芽し、さらに 5 mm から 10 mm 以上に伸長した枝はその後も続けて生育したが、処理後に萌芽したものは、ほとんど伸長することなく枯死した。

他区の間でも同様に、発芽後生長点のぼける現象は幾らか見られたが pH 2.5 区が特にひどかつた。pH 2.5 区の全部および pH 3.5 区の一部では当然発芽の予期できる腋芽が発芽までにいたらないものがみられた。

新根は pH 2.5 区でほとんど枯死し、pH 3.5 区および 6.5 区でもいくらか枯死しているものがみられた。したがつて pH 3.5 を含めてそれ以下の値を示す水素イオン濃度は発芽抑制、あるいは新生部分に対する害作用がかなり大きいものと思われる。ちなみに pH 調整に用いた塩酸および自動噴霧装置に用いた塩化ビニールパイプ、塩化ビニールシートなどから培養液に浸出してきた塩素含量は、1日処理後 pH 2.5 区 190 ppm、pH 3.5 区 76 ppm、pH 4.5 区 42 ppm、pH 5.5 区 22 ppm、pH 6.5 区 10 ppm で塩素イオンの害作用はあまり問題とならないものと思われる⁽⁴⁾。

新梢伸長量は樹体個々の新梢数にかなりの相違があり、pH 2.5 区を除いて処理間に有意差を認めることが出来なかつたが、pH 5.5、4.5 区がやや他区よりもすぐれた。pH 2.5 区の新梢の伸長量は pH 処理前の樹体内貯蔵養分によるものと思われる。

pH 6.5 区における pH 値の変化はかなり大きく、平均して約 7.0 前後を示し、培養液の更新時に見られる沈澱量も他区より多かつた。pH 6.5 区の新梢伸長量や葉の緑化、新根の一部枯死など、いづれも pH 3.5 区に類似したがその原因は、培養液がややアルカリ側に移行したために養分の吸収がいくらか阻害されたことによるものと思われる。新根の伸長量、生体重の増加量は pH 4.5 区、5.5 区が他区をしのいでおり、しかもこの両区にあつては実験終了時、第三次生長（秋芽）が始まつた。

実験終了時期における各処理区の樹勢は pH 4.5 区、5.5 区が最も強いと考えられる。すなわち、この場合の樹勢の強弱は生長周期の長短、生体重増加量の大小がおもなきめてとなつている。

葉成分含量と pH との関係

葉内各要素の含量は根部の養分吸収力の強さ、樹体内移動の多少、さらには地上部生育量の大小で微妙に変化するものと思われる。pH 3.5 区および 6.5 区の全 N、蛋白態 N および P の葉内含量が pH 2.5 区に比べて低い値を示したのは、地上部の生育量の違いによるもので一種の希釈効果と考えられる。一方、夏葉における Ca、Mg 含量は希釈効果をみせないで樹勢に応じた含量を示した。

Russmussen 等⁽¹²⁾ や Jacobson 等⁽⁹⁾ によると、pH の低下によってことに pH 4 またはそれ以下になると Ca や K の吸収が減少している。

夏葉が春葉よりも多く含む P および Mg 成分は根部から新しく吸収蓄積したものだけでなく、古葉から移行した量がかなり多いことが考えられる。また春葉、夏葉の両方がほとんど濃度差を示さない N 成分は春葉から夏葉への移行と合せて、根からの吸収移行が春葉、夏葉の両方に及ぶものと考えられる。

Chapman 等⁽²⁾ は培養液の中で 0.1 ppm 程度のごくわずかの Cu 濃度であっても、酸性が強い場合には根に有害であるとし、水素イオン濃度の直接の影響よりもむしろ Cu の毒性を問題としている。本実験で春葉、夏葉の Cu 含量は Cu を含む殺菌剤を葉面散布したことにも原因しているが、樹の生育との間に一定の傾向はみられなかった。

葉内炭水化物含量に及ぼす pH 処理の影響ははっきりしない。生長の盛んな時期には炭水化物の蓄積と消耗が重なることに原因するものと思われる。

樹勢の診断と葉分析

栄養生長を対象とした樹勢の強弱は、生長周期の長短および 1 生長周期を経た後の生長量が一応の目安になると思われる。

葉成分含量は樹体の生育量によって希釈効果を示す場合があるので、一概に成分含量のみをもって樹勢を診断することは危険である。

生長量にあまり差のない樹に対しては全 N、蛋白態 N、K、Mn などの葉内含量を比較することで、おおよその樹勢の比較が出来るが、生長量にかなりの相違がみられる場合はこれらの成分含量だけでは診断の材料とはならない。本実験では pH 処理による樹勢の強弱を正確に診断できる要素は Ca または Mg であった。本実験に用いた培養液の容量は 24 l で、中性に近い処理区の pH は 1 昼夜後かなり変化した。培養液の容量を大きくし更新時間を短縮することで、より狭い範囲の pH 値が得られるものと思われる。

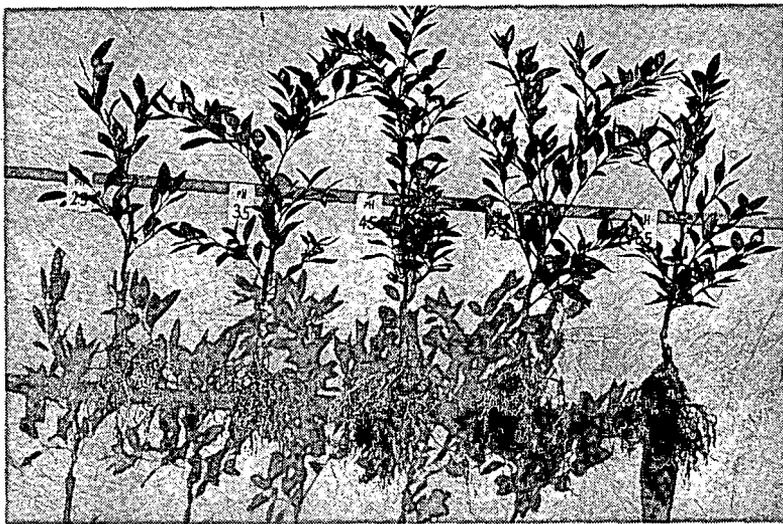


Fig. 5. Comparison of the tree growth.



Fig. 6. Root system in box.

V. 摘 要

1. 1965年7月から同年10月まで、2年生の温州ミカンを、木箱の中に張ったネットの上へのせ、培養液の pH を2.5~6.5に変えて根部に噴霧し、樹体の生育ならびに葉成分含量に及ぼす pH の影響を検討した。
2. 樹体の生育は pH 4.5 および5.5区が他区をしのご、次いで3.5, 6.5区の順となつて、2.5区が最も悪かつた。pH 2.5区の樹の発芽数は極端に少なく、新根はほとんど枯死し、更に3.5, 6.5区の新根もいくらか枯死した。
3. pH 3.5, 6.5区における葉内全N, 蛋白態NおよびP含量は pH 2.5区に比べて低かつた。夏葉の Ca, Mg 含量は pH 4.5, 5.5区が最も高く、ほぼ樹勢の強さに比例していた。Pおよび Mg 成分は春葉より夏葉に多く含まれており、K, Ca, Mn は逆に春葉の方に多かつた。

引用文献

1. Bernstein, L. B. 1964. Plant Analysis and Fertilizer Problems. IV : 25-45.
2. Chapman, H. D. and D. S. Rayner. 1965. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 86 : 183-193.
3. —————, and E. R. Parker. 1942. Plant Physiol. 17 : 366-376.
4. —————, and G. F. Jr. Liebig. 1937. Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 2 : 359.
5. Guest, P. L. and H. D. Chapman. 1944. Soil Sci. 58 : 455-465.
6. Haas, A. R. C. 1940. Plant Physiol. 15 : 377-407.
7. Hewitt, E. J. 1966. Tech. Comm. No. 22 (Revised) of the Commonwealth Bureau of Horticulture and Plantation Crops. East Malling.
8. Hoagland, D. R. 1917. Soil Sci. 3 : 547.
9. Jacobson, L., D. P. Moore, and R. J. Hannapel. 1960. Plant Physiol. 35 : 352-358.
10. 中島芳和 堀金正巳. 1965. 高知大. 学研報. 14 (II) : 7-15.
11. Pearse, H. L. 1937. Ann. Rep. East Malling Res. Sta. 1936 : 131-136.
12. Rasmussen, G. K. and P. F. Smith. 1959. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 73 : 242-247.
13. 佐藤公一. 石原正義. 栗原昭夫. 1960. 農技研報. E 8 : 77-96.
14. 高橋郁郎. 1947. 柑橘 養賢堂.

(昭和41年7月25日受理)