

永年作物の干害特性ならびに樹勢回復法に関する研究
—夏季の干魃がミカンの養分吸収におよぼす影響について—

山崎清功
農林省四国農業試験場

**Studies on the Characteristics of Draught Damage to Fruit Trees and the Methods
of Recovery — Effect of Summer Drought on the Nutrient Absorption of Citrus Trees —**
By S. YAMASAKI
Shikoku Agricultural Experiment Station, Zentsuji, Kagawa.

Summary

In the western part of Japan, the unprecedented drought caused heavy damage to fruit trees, especially to citrus trees, in 1967. To grasp the facts of the case, surveys were carried out for citrus orchards in the southern area of Ehime Prefecture. The condition of topographical location of heavily suffered orchards was examined, and the characteristic feature of nutrient absorption of these citrus trees was investigated. The results obtained are summarized as follows.

- (1) The drought-stricken orchards were situated on steep slopes with well drainage. The soil of such orchards not only contained much gravel but also had a coarse texture. Moreover, the soil depth available for root growth were very shallow. The soil management was not intensive nor suitable, for example, having insufficient application of sod mulch.
- (2) The leaves of heavily damaged citrus trees were on the whole smaller in size and lower in moisture than those of lightly damaged ones. Fruit growth was retarded. The ratios of fruit pulp to total weight and fruit juice contents were low. Many abnormal fruits such as cracking and rough rind were found.
- (3) Compared with lightly damaged leaves, lower potassium and higher magnesium contents were characteristic figures of heavily damaged ones. The contents of calcium, manganese and sodium were high on the whole and that of

boron showed a tendency to be low. There was no close correlation between the contents of phosphorus, iron and copper and the drought. The damaged fruits showed high nitrogen content but the contents of base such as potassium indicated a different pattern from those of leaves mentioned above.

(4) In case of drought-damaged fruits, nitrogen content, in all items of nitrogen fractions such as total-N, protein-N, water-soluble-N, inorganic-N and so on, was high, but the ratio of protein-N to total-N was low. Sugar content in fruit juice was high but showed a tendency to be low, being calculated on dry matter basis.

Thus, citrus trees damaged by the drought were disturbed in their balance of plant nutrition and physiological harmony, which seemed to be one of the causes to prevent the fruits from normal growth.

目 次

1. 緒 言	114	3・1 干害ミカン園の立地と 土壌の性状	115
2. 調査方法	115	3・2 干害を受けた成木の 養分吸収	118
2・1 干害ミカン園の実態調査	115	4. 摘 要	125
2・2 葉および果実の分析法	115		
3. 調査の結果と考察	115		

1. 緒 言

果樹の生産力は気象条件によって大きく制約を受けるとともに、その培地土壌の条件によっても著しく影響されるものである。ことに気象条件ならびに土壌の物理性と深い関連性をもつ土壌水分は、土壌中における成分の動態、土壌微生物の活動を規制するとともに、作物の吸水・蒸散など生理的機能を通じてその生産力を支配する重要な役割を果たしている。

土壌水分は主として降雨によって供給されるが、わが国の降雨分布は地域あるいは季節によってかなり大きな較差があり、また地形、土層構成などの関係からも土壌水分条件に著しい変動がある。

したがって、とくに傾斜地樹園地で果樹の安定生産をはかするには、排水、灌漑ならびに土壌改良などによって適正な水管理を行なうことが基本的な要件となる。

しかしながら、現段階ではミカンからみた好適土壌水分ならびに水分生理的特性は必ずしも明らかにされているとはいえず、寡雨地帯で頻発す

る夏季の乾燥とミカンの養分吸収に関する水分生理の解明など、水管理の合理化をはかるときの基礎的資料を蓄積することが強く要請されている。

筆者は以上のような観点から、すでに傾斜地における土壌水分の動態¹⁾ならびにミカン幼木の生育におよぼす土壌水分の役割²⁾について報告した。

たまたま、昭和42年西日本大干魃を契機として、科学技術庁の特別研究促進調整費による表記の課題を分担する機会に恵まれ、小型自動灌水装置などの研究施設の整備を終えて、干害ミカンの樹勢回復におよぼす土壌水分と施設の影響について現在検討段階に入っている。

ここでは、西日本大干魃で四国地域のうちでも干害が激甚であった愛媛県下におけるミカン園の土壌条件および干害樹の生態生理特性を明らかにするため、干害ミカン園の立地と干害樹の養分吸収の面から検討して若干の知見が得られたので、その概要をとりまとめて報告する。

本研究を実施するに当たっては、防災科学技術セ

ンター異常気候防災研究室長小沢行雄氏，四国農業試験場土地利用部長古谷義人氏，同じく土壤保全研究室長川村秋男氏から種々の御配慮をいただき，また現地調査に当っては地元各機関の方々から御協力をいただいた。ここに記して衷心より謝意を表する次第である。

2. 調査方法

2・1 干害ミカン園の実態調査

西日本各地域では，昭和42年7月中旬から約3カ月間ほとんど無降雨状態（愛媛県宇和島市で梅雨明け後90日間に66mm）が続き，果樹とくにミカンは甚大な被害を受けた。

筆者は四国農試干害実態調査班の一員として，10月上旬と下旬に愛媛県下のミカン園を調査した。

調査地区としては，県下でも代表的な被害激甚地帯であった北宇和郡吉田町を主にし，地質母材を異にする地帯として伊予市大平地区を補足的に選定した。

調査園の樹種としては，普通温州，早生温州，夏ミカンの3種を対象にした。地点の選定に当っては，地形，土性，土壤管理法などに特徴ある園を選び，土壤の試坑調査を加えてこれら立地条件

と干害状況との関係の解明に努めた。また干害樹の葉および果実試料を採取して，無機養分および窒素化合物，糖類を分析し，養分吸収を中心とする栄養生理の面から干害樹の特性を明らかにしようとした。なお，干害樹の対照樹は同一園内または隣接園で干害の比較的軽いものを選定した。

2・2 葉および果実の分析法

- 1) 全N：ケールダール法
- 2) 水溶性N：熱湯抽出液についてケールダール法
- 3) 無機態N：熱湯抽出液についてコンウェイの微量拡散法
- 4) P：バナジン酸アンモン法
- 5) K, Na：フレイムホトメーター法
- 6) Ca, Mg, Mn, Fe, Cu：原子吸光分析法
- 7) B：クルクミン法
- 8) 糖類：ソックスレー抽出器を用いて80%アルコールで抽出した糖液をソモギー法³⁾で測定した。

3. 調査の結果と考察

3・1 北宇和郡吉田地区

3・1・1 北宇和郡吉田地区

1) 干害ミカン園の立地概況

第1表 吉田地区干害ミカン園の概況

調査番号	部落名	樹種	干害程度	樹令	傾斜方向	勾配(自然)	斜面形態	数草	土壤母材	有効土層	根の伸長	土性
1 A	鳴谷	普通温州	小	20	SW	25°	排水	中	砂岩	> 50	> 40	CL
			大	20	SW	25	排水	中小		40	40	SCL
2 A	小深浦	夏ミカン	小	25	SW	5	集水	少	砂岩	> 60	35	L
			大	30	W	25	排水	無		40	35	L
3 A	法花津	普通温州	無	30	W	0	集水	多	頁岩	> 50	40	CL
			小	30	W	0	集水	多		60		CL
			大	30	S	25	排水	多		35		L
4 A	島首	早生温州	小	20	E	15	排水	中	頁岩	> 40	35	CL
			大	20	E	25	排水	中		30	25	SCL

吉田町は愛媛県南予地方に在り，四国山地が宇和海に落ち込むリアス式海岸に接している。地質は主として中生層からなり，土壤は砂岩または頁岩を母材とする埴壤土から砂壤土の範囲におよんでいる。

まず，調査園の立地条件の概況を示すと第1表のとおりである。

調査園No.1の干害樹は，葉が葉肉崩壊症とみ

られる褐色斑状を呈し，果実は著しく小径のうえ，調査当日が降雨のため急激な吸収により裂果となったものが多かった。また干害樹は表土に分布する細根が枯死状態となっていることを観察した。この干害樹の立地を対照樹のそれと比較した場合の特徴は，有効土層の浅いこと，土性が粗粒質であること，および数草量の少ないことなどであった。なお土壤調査の結果は後述する。

㊦2の干害樹は落葉が著しく、また枯枝、枯葉、枯死根、ヌズ肌小果の多いきわめて干害程度の大い夏ミカンである。この立地条件は対照地と比較して急傾斜かつ排水型地形に位置し、また敷草はなく、土層の浅いことに特徴があった。

㊦30の干害樹は、果実の肥大が不良で、調査前日からの降雨により裂果となるものが多かった。この干害樹の立地を㊦3Aと比較した場合、急傾斜地で排水型地形に位置し、雨水の貯留に不利な地形であることが特徴となっている。なお3A(かん水園)と3B(無かん水園)はかん水の有無による相違を調査したもので、3Aは干害の徴候が全くみられないのに対し、3Bは小型果がやや多かった。

㊦4の干害樹は葉が少さく、落葉が進み、かつ果実の肥大がかなり抑制された早生温州である。この干害樹の立地特徴は有効土層が浅く(30cm以下は岩盤)、したがって根系の垂直的伸長が阻害されていることにあると考えられた。

2) 干害ミカン園の土壌の性状

前項の調査園では樹冠下の土壌を試坑し、採土したものについて水分その他を室内的に調査した。それらの成績は第2表に示すとおりである。

土壌の仮比重は土壌密度を表現するもので、水の動態、根系の伸長に關与する重要な物理的要因であるが、本調査では測定点数が少なく、干害の輕重との関係は明らかでなかった。礫含量は調査例㊦1, 2, 4でみられるように干害地で明ら

第2表 吉田地区干害ミカン園土壌の性状

調査 番号	部落名	樹種	干害 程度	土 壤 母材	土 層 の 深 さ	假比重	土 性	礫 %	土 壤 水 分 %	1 : 2 浸出	
										pH	EC
1	鳴 谷	普通 温州	小	砂岩	5~10	—	CL	5	15.8	4.61	190
					20~25	—	CL	5	16.1	7.45	330
2	小深浦	夏ミ カン	小	砂岩	5~10	1.28	CL	5	12.2	4.85	85
					20~25	1.33	L	5	9.4	4.25	65
3	法花津	普通 温州	小	頁岩	5~10	1.24	CL	10	12.4	4.70	121
					20~25	1.28	CL	10	14.4	4.25	73
4	鳥 首	早生 温州	小	頁岩	10~15	—	CL	10	14.2	6.45	245
					20~25	1.34	CL	5	17.1	4.37	83
3	法花津	普通 温州	大	頁岩	5~10	1.07	L	10	13.1	4.68	265
					20~25	1.26	L	10	12.4	4.08	103
3	法花津	普通 温州	大	頁岩	40~45	1.42	CL	15	13.5	4.10	80
					40~45	1.42	CL	15	13.5	4.10	80
4	鳥 首	早生 温州	大	頁岩	10~15	—	SCL	25	13.0	4.35	942
					10~15	—	SCL	25	13.0	4.35	942

かに多く、土層の浅いことと相まって礫質土で保水性が劣ることを示唆するものと考えられた。また土性は干害地が全般的に粗粒質であり、礫含量の多いことも関係して保水性の低いことが認められた。

土壌の含水量は一般にきわめて低く、約30mmの降雨の直後でも5~10cm以下の土層では白く乾燥している園が多かった。とくに㊦8, 9園は118mmの降雨をともなった台風の直後であったが、樹冠下の一部では地表下10~15cm

以下に浸透水の到達していない箇所もみられ、表土がそれまで如何に乾燥していたかを物語っているように思われる。

土壌のpHは、全般的に干害地の方で低い傾向にあることが認められたが、これが直接干害と関連があるかどうかは明らかでない。

土壌浸出液の塩類濃度を示す電導度は、いずれも干害地でかなり高いことが認められ、これが浸透圧との関連で根の吸水抑制に關与し、干害を助長する一因となったことも推察される。

第3表 伊予市大平地区干害ミカン園の概況

調査番号	部落名	母材	干害程度	傾斜方向	斜面形態	勾配(自然)	根の伸長	土性	敷草	土壌水分(pF)	平均果径	
1	A B	會根	+++	NE	排水	14°	cm 80	L	kg/a 18	4.0	mm 38	
			+++	NE	排水	25	25	CL		3.8	45	
2	A B		+	NE	排水	30	90	L	37		48	
			++	NE	排水	26	55	CL		41		
3	A B	石原	和泉砂岩	+++	E	集水	30	100	SL	12	4.0	36
				+++	E	排水	15	35	SL		4.0	43
4	A B			+	NW	排水	27	>100	CL	68	3.4	50
				+	NW	排水	25	35	LiC		2.9	49
5	A B	武領		++	NE	排水	20	65	CL	48	4.1	51
				++	NW	排水	18	40	HC		4.2	44
6	A B			-	NE	集水	28	>110	CL	40		52
				-	NE	排水	10	40	L		49	
7	A B	本谷		-	NE	集水	30	90	CL	40	2.4	50
				++	NE	排水	32	40	CL		4.2	52
8	A B		結晶片岩	-	NE	平滑	24	100	SL	240	2.8	63
				-	NNE	平滑	27	30	L		3.1	59
9	A B			-	NNE	平滑	25	90	L	75		52
				+	NNE	排水	28	85	L		50	
10	A B	長崎谷		-	NE	集水	30	50	CL	2.50	3.7	44
				-	NE	排水	30	40	L		40	
11	A B			-	N	集水	27	100	CL	37		62
				+	N	排水	27	40	SL		3.1	52

3・1・2 伊予市大平地区

10月6日、伊予市大平地区の各地点におけるミカンの干害程度と土壌水分などを測定した結果を示すと第3表のとおりである。

本地区を地質母材から区分すれば和泉砂岩と結晶片岩に大別される。ミカンの干害程度をこの母材別にみると、全般的に結晶片岩地帯よりも和泉砂岩地帯において干害程度が大きい傾向があった。これは土壌条件において後者が前者よりも一般に土壌の構造性が不良で、透水性、保水性がともに劣る場合の多いことが要因となっていると考えられる。

斜面形態でみると、6、7、9、11のB園がA園と異なり、いずれも排水斜面に位置していることが、貯水能との関連で干害を助長する一因をなしていると考えられる。

土壌管理対策として敷草を実施することは土面蒸発を抑制し、土壌の保水性を助長する有効な手段と考えられる。本地区での敷草は干害の比較的小さい結晶片岩地帯の園で多く、結晶片岩質の土

壌の保水性の有利な特性を一層補完しているものとみられた。とくに敷草の多い6、8および10の地点では土層がかなり浅い場所でも干害の様相は認められなかった。

土壌の物理的条件とくに有効土層の深さは根系の伸長限界を支配する重要な因子であり、また根圏の広さは土壌の絶対保水量とも関連して当然干害の程度をも規制する一因となる。本地区においても根系の伸長限界と干害程度とは高い相関があり、多くの地点で根系伸長土層の浅いところは干害程度も大きいことが認められた。

礫含量ならびに土性は毛管孔隙量とも関連して透水性、保水性に關する重要な土壌要因である。本地区6、3地点は礫含量40~70%に達する礫土(土性は砂壤土)であって、その保水性の低さを反映し本地区の中でもっとも干害程度が大きかった。

土壌水分は約20mmの降雨の翌日、樹冠下の地表下10cmの位置で測定した。本年夏秋期の降雨量は8、9月の2カ月間僅か19mmに続い

て調査前日の20 mmのみであり、樹冠下で敷草のやや多いところでは敷草がそのすべてを吸収し、土面まで雨水が到達していない場合さえ見受けられた。測定した土壤水分をpF値で表示すれば上表のようで、和泉砂岩地帯では萎凋点付近に達しているものが多く、ミカンの干害程度ともほぼ対応していることが認められた。

調査樹の平均果径を測定した結果は表示のようで、干害程度の大きい仮1～3地点での果径はかなり小さいのに対し、干害の少ない仮8, 11 Aなどでは果実の肥大が比較的良好であるように見受けられ、これらはいずれも上記の土壤条件を反映しているものと推察される。

以上のように、干害の甚だしい傾斜地ミカン園の実態からみれば、土壤の保水性の劣ることが最大の立地的特徴であって、干害を可及的に回避するために、土壤管理の面からは深耕、敷草などの手段が強調されるべきであるが、今後さらに保水性と透水性の調和を保ち、水の効率の利用のための土壤改造法および改造効果の維持管理に対する基本的理念を明確にする必要があるように考えられる。

3・2 干害を受けた成木の養分吸収

3・2・1 干害ミカンの生態的特性

吉田地区および伊予地区の干害ミカン園におけるミカン葉についての生態的特性を調査した。そ

第4表 干害ミカン葉の性状

仮	部落名	干害程度	樹種	樹令	葉長	葉面積	生葉1枚重	生葉水分	乾葉1枚重	乾葉重
				年	mm	cm ²	g	%	g	mg/cm ²
1	A B	石原	普通	35	134	59	1.40	61.5	0.54	9.2
				35	110	41	0.70	53.0	0.33	8.1
2	A B	長崎谷	早生	20	115	56	1.65	61.5	0.64	11.4
				20	79	28	0.97	60.5	0.38	13.5
4	A B	深浦	夏ミカン	35	104	39	1.02	59.7	0.41	10.5
				35	93	32	0.75	56.5	0.33	10.3
5	A B	鳴谷	普通	20	117	49			0.52	10.6
				20	111	45			0.46	10.2
6	A B	小深浦	夏ミカン	35	122	58			0.60	10.3
				25	89	31			0.34	11.0
7	A B C	法花津	普通	30	149	81			0.76	9.4
				30	137	65			0.62	9.5
				30	106	42			0.52	12.4
8	A B	鳥首	早生	20	102	39			0.40	10.2
				20	85	28			0.28	10.0

の成績は第4表のとおりである。

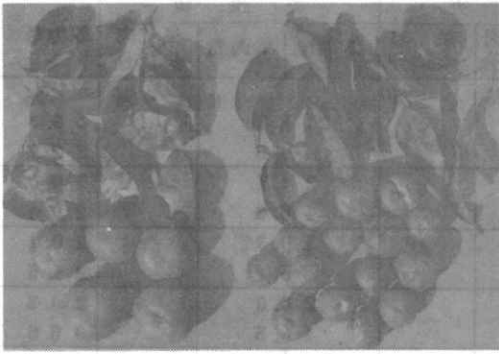
すなわち、干害の著しい樹では干害の軽いものに比べて葉長が短く、葉面積の狭い場合が多い。このことは当然葉重に反映し、干害樹の平均1枚乾葉重は著しく低いことが認められた。なお調査時が雨中に遭遇した場合が多く、水分測定可能な試料は少なかったが、それらの調査結果では干害葉の生葉水分はいずれも対照樹より低かった。仮1および5の干害樹では葉の1部が褐変し、いわゆる葉間崩壊症状が認められた。

つぎに干害ミカン果の性状について調査した成績は第5表のとおりである。

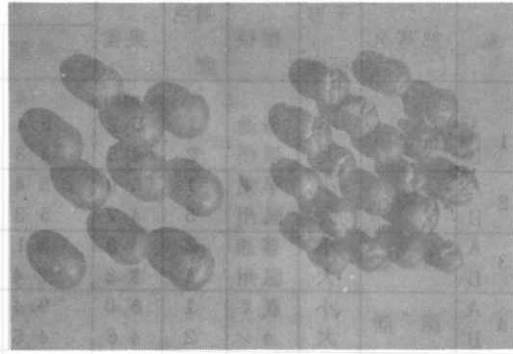
干害の著しい果実は干害の軽いものに比べて肥

大抑制が著しく、平均1果重は健全果(これも平年に比べると小さいと推定されるが)の $\frac{1}{2}$ ～ $\frac{1}{3}$ 程度に過ぎないものが多かった。また果皮の外観でも、仮3B, 5Bは裂果となり、仮4B(夏ミカン)はユズ肌状で硬化していた。また干害果は果肉歩合が低く、果皮果肉中の水分も少ない場合が多く、土壤水分欠乏の反映が認められた。

夏季に土壤が乾燥した場合のミカン樹・果実の生態を灌水効果と対比して調査した事例(4)5)6)7)8)9)は多いが、長期にわたる大干魃の被害を受けたミカン樹、果実の生態を調査した事例はほとんど見当たらない。果樹では、とくに樹体内に水分が欠乏すると、果実内の水分が葉に転流するため



試料/65 (普通温州ミカン)
左：干害小 右：干害大



試料/63 (普通温州ミカン)
左：干害小 右：干害大



試料/61 (普通温州ミカン)
左：干害小 右：干害大



試料/67 (普通温州ミカン)
左：干害小 右：干害大



試料/66 (夏ミカン)
左：干害小 右：干害大



試料/64 (夏ミカン)
左：干害小 右：干害大

第5表 干害ミカン果実の性状

No	部落名	干害程度	樹種	着色度	果径 mm	生果実			乾果実			乾物率 %											
						一果重 g	果歩 %	肉合 %	果皮重 g	果肉重 g	果歩 %		肉合 %										
1	A 石原	小	普通温州	1	52	64				12.3		19.3											
													B	大	2	45	43			9.6		22.2	
2	A 長崎谷	小	早生温州	1	69	154			24.7		16.0												
												B	大	5	47	53			10.6		20.0		
3	A 雪森	小	普通温州	2	48	51			10.3		20.1												
												B	大	4	38	24			5.2		21.5		
4	A 深浦	小	夏ミカン	1	60	94			26.6		28.3												
												B	大	2	46	45			16.5		36.6		
5	A 鳴谷	小	普通温州	7	71	140	79.1	89.1	7.2	12.1	62.8											13.8	
												B	大	7	47	42	70.3	83.7	3.9	4.8	55.2		20.7
6	A 小深浦	小	夏ミカン	2	93	324	72.5	88.1	20.5	28.1	57.7											14.9	
												B	大	2	54	69	56.9	79.9	9.2	7.9	46.2		24.8
7	A 法花津	無	普通温州	7	73	144	74.8	88.6	9.6	12.3	56.4											15.2	
												B	小	7	63	95	73.2	85.6	6.7	10.0	59.7		17.7
8	A 鳥首	小	早生温州	8	58	88	74.2	85.9	5.8	9.2	63.8	17.1											
													B	大	8	49	55	75.9	86.3	3.2	5.7	64.0	16.1

第6表 干害ミカン葉の養分含有率

(乾物中)

No	干害程度	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Na	Cu	B
1	A 小	2.48	0.14	0.95	3.10	0.26	225	70	310	10	52.5
	B 大	2.82	0.15	0.85	3.75	0.32	250	75	410	8	62.0
2	A 小	2.80	0.13	1.08	3.38	0.28	150	30	290	9	43.0
	B 大	2.62	0.13	1.05	3.38	0.32	180	50	310	12	30.0
4	A 小	2.02	0.14	0.50	4.00	0.46	310	50	380	63	
	B 大	2.20	0.14	0.45	4.00	0.64	180	40	390	48	
5	A 小	2.12	0.16	1.28	3.38	0.26	110	25	320	58	62.5
	B 大	2.32	0.14	1.18	3.12	0.50	100	65	390	68	47.5
6	A 小	2.72	0.15	1.25	3.15	0.26	130	30	260	43	44.0
	B 大	2.34	0.15	0.88	3.15	0.35	105	40	300	53	78.0
7	A 無	2.78	0.17	1.08	3.15	0.43	110	25	210	42	46.0
	B 小	2.86	0.15	1.03	2.95	0.52	90	40	230	42	40.0
	C 大	2.78	0.16	0.90	3.10	0.53	110	50	300	48	50.0
8	A 小	2.82	0.15	1.25	3.15	0.30	105	30	210	35	27.0
	B 大	2.72	0.14	0.83	3.75	0.33	100	45	250	40	25.0

水分欠乏の悪影響が果実の生長に最初に現われる特徴をもっている。¹⁰⁾

以上のように、ミカンが夏の干害を受けると枝条や根系の伸長ならびに果実の肥大が抑制され、葉の同化機能や根の吸水、吸肥機能が低下し、果

実の収量低下はもちろん、裂果、菊果など品質の低下を招く場合が多く、葉の着生を少なくして樹勢を衰弱させ隔年結果の原因となることが考えられる。

3・2・2 干害ミカンの養分吸収

1) ミカン葉の養分含有率

両地区における干害ミカン葉の無機養分含有率を測定した結果は第6表のとおりである。

まず、N含有率は干害葉で高い場合が多いが、1部では逆の場合も見受けられた。N含有率は一般に土壤水分の低下にともなって増大する傾向にあるが、それもある限度を越えて葉が萎凋徴候を呈するほどの干害条件下では、N含有率はまた逆にやや低下する場合があり、2) 11) この調査においても干害の程度、期間などにより、必ずしも一定しないものと考えられる。

また、干害を強く受けた葉は干害の軽いものに比べてK含有率が低く、逆にMgの高いことが特徴で、その他にも干害葉はCa, Mn, Na含有率が概して高く、Bは低い傾向があるが、P, Fe,

Cu,などは干害との関係が明らかでなかった。

土壤水分の低下にともなって作物のK含有率が低下し、Mgが増大する様相はWADLEIGH¹²⁾の見解とも一致するもので、これは土壤が乾燥するとKの土壤固定が高まり、有効度を低下することと関連しているものと考えられる。またこのような様相は幼木(ポット試験)の場合²⁾と合致し、各樹令に共通した水分生理的養分吸収特性であることが推察された。

以上のように、干害の程度によって葉内の各養分相互間の濃度比(m, e比)に均衡を欠く場合のあることが推測されるので、それらの関係を示すと第7表のようである。

すなわち、N/K, N/P, N/Fe, Ca+Mg/K+Naなどは干害葉で高い場合が多いのに対し、

第7表 干害ミカン葉および果実の養分濃度比(m・e)

部位	処理	$\frac{Ca+Mg}{K+Na}$	N/P	K/Ca	K/Mg	K/Na	Fe/Mn	N/K	N/Ca	N/Mg	N/Na	N/Fe
葉	1 A	6.8	1.30	0.16	1.15	1.80	4.7	7.3	1.14	8.3	130	147
	1 B	9.0	1.43	0.12	0.84	1.24	5.0	9.2	1.08	7.7	114	150
	2 A	6.7	1.59	0.16	1.19	2.20	7.4	7.2	1.18	8.6	159	248
	2 B	6.9	1.55	0.16	1.03	1.99	5.4	6.9	1.11	7.1	138	193
	4 A	16.3	1.06	0.07	0.34	7.8	9.0	1.12	0.72	3.8	88	90
	4 B	18.8	1.15	0.06	0.23	6.8	6.5	1.34	0.79	3.0	92	162
	5 A	5.6	1.44	0.19	1.55	2.37	6.6	6.8	1.31	10.4	160	378
	5 B	6.2	1.74	0.19	0.73	1.77	2.3	7.9	1.52	5.8	139	439
	6 A	5.4	1.38	0.20	1.50	2.83	6.4	6.1	1.24	9.2	173	279
	6 B	7.8	1.18	0.14	0.79	1.75	3.7	7.4	1.06	5.8	130	299
	7 A	6.7	1.21	0.18	0.78	3.10	6.6	7.2	1.26	5.6	221	338
	7 B	6.9	1.40	0.18	0.62	2.66	3.3	7.7	1.38	4.8	205	418
	7 C	8.2	1.33	0.15	0.53	1.75	3.3	8.6	1.28	4.6	151	338
	8 A	5.5	1.38	0.20	1.29	3.55	5.1	6.3	1.27	8.1	224	362
	8 B	9.6	1.43	0.11	0.78	1.92	3.4	9.2	1.04	7.2	177	362
	果実	1 A	1.41	6.1	0.93	2.9	1.12	4.7	2.4	2.2	6.9	270
1 B		1.30	6.5	1.00	3.3	1.08	7.5	2.6	2.6	8.5	282	304
2 A		1.24	6.4	1.05	3.3	7.8	9.6	2.6	2.7	8.3	197	300
2 B		0.94	7.4	1.43	4.0	9.8	7.7	2.3	3.3	9.2	228	365
3 A		1.22	6.7	1.26	2.3	10.8	8.1	2.8	3.5	6.3	300	247
3 B		1.11	8.1	1.28	2.8	5.8	9.6	2.8	3.7	8.1	164	315
4 A		1.35	7.5	1.00	2.6	8.3	7.6	2.6	2.6	6.7	212	348
4 B		1.17	7.7	1.28	2.5	9.4	9.3	2.9	3.7	7.3	272	412

K/Ca, K/Mg, K/Na, Fe/Mn, N/Mg, N/Naなどは逆に干害葉で低い場合が多い。これらのうちCa+Mg/K+Na, Ca/K, K/Mgなどの動向は幼木の場合²⁾と合致することが認められた。

2) 干害ミカン果実の養分含有率

調査地点におけるミカン果実の無機養分含有率を示すと第8表のとおりである。なお10月5日に採取した処理1~4については皮引きの果実全体

第8表 干害ミカン果実の養分含有率

(乾物中)

部位	No	樹種	干害程度	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	B
				%	%	%	%	%	mg%	mg%	ppm	ppm
果実	1	A 普通温州	小	1.02	0.120	1.18	0.65	0.128	6.3	4.3	13.5	15.2
		B 温州	大	1.15	0.130	1.23	0.63	0.118	6.8	5.0	10.0	14.2
	2	A 早生温州	小	1.05	0.120	1.15	0.56	0.110	8.8	4.6	7.0	14.5
		B 温州	大	1.02	0.100	1.23	0.44	0.095	7.3	3.8	7.0	12.5
果実	3	A 普通温州	小	1.18	0.130	1.18	0.48	0.162	6.5	6.3	11.5	16.2
		B 温州	大	1.10	0.100	1.08	0.43	0.110	11.0	4.6	7.0	15.2
	4	A 夏ミカン	小	1.22	0.120	1.33	0.68	0.158	9.5	4.6	9.0	16.0
		B 温州	大	1.56	0.150	1.50	0.60	0.188	9.5	5.1	8.0	18.2
果皮	5	A 普通温州	小	0.91	0.055	0.67	1.08	0.098	14.0	4.6	5.0	23.1
		B 温州	大	1.16	0.075	1.03	0.50	0.133	10.5	4.6	6.0	17.7
	6	A 夏ミカン	小	1.09	0.075	1.13	0.83	0.110	12.3	6.8	11.0	18.9
		B 温州	大	1.30	0.105	1.20	0.63	0.168	12.0	4.0	11.5	18.9
果皮	7	A 普通温州	無	0.85	0.058	0.67	0.78	0.128	7.0	3.3	5.0	20.4
		B 温州	小	0.94	0.065	0.70	0.66	0.158	8.8	3.0	5.0	20.1
		C 温州	大	1.17	0.080	1.00	0.65	0.160	10.0	4.0	8.0	19.8
	8	A 早生温州	小	0.90	0.065	0.81	0.50	0.081	10.5	3.3	6.0	14.1
B 温州	大	1.04	0.063	0.99	0.80	0.088	12.3	3.8	10.0	17.1		
果肉	5	A 普通温州	小	0.96	0.130	1.18	0.25	0.080	7.5	4.0	6.0	8.7
		B 温州	大	1.25	0.130	1.18	0.13	0.085	6.3	3.5	10.0	8.1
	6	A 夏ミカン	小	1.27	0.190	1.47	0.30	0.095	5.8	3.0	3.0	9.0
		B 温州	大	1.88	0.195	1.40	0.30	0.108	6.3	3.0	6.0	13.2
果肉	7	A 普通温州	無	0.98	0.130	1.13	0.19	0.080	5.3	5.0	4.0	7.5
		B 温州	小	1.13	0.130	1.15	0.16	0.085	5.0	6.5	7.0	8.1
		C 温州	大	1.21	0.135	1.13	0.15	0.083	4.5	5.0	7.0	8.4
	8	A 早生温州	小	1.01	0.115	1.18	0.13	0.070	6.3	2.6	5.0	6.0
B 温州	大	1.06	0.125	1.23	0.20	0.075	5.8	4.0	5.0	6.0		

第9表 葉1枚当り養分吸収量

(mg/枚)

No	干害程度	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Na	Cu	B
1	A 小	13.4	0.76	5.1	16.7	1.40	0.121	0.038	0.167	0.005	0.028
	B 大	9.3	0.50	2.8	12.4	1.06	0.083	0.025	0.135	0.002	0.020
2	A 小	17.9	0.83	6.9	21.6	1.79	0.096	0.019	0.186	0.006	0.028
	B 大	10.0	0.49	4.0	12.8	1.21	0.069	0.019	0.118	0.005	0.011
4	A 小	8.3	0.57	2.1	16.4	1.88	0.127	0.021	0.156	0.026	
	B 大	7.3	0.46	1.5	13.2	2.11	0.060	0.013	0.128	0.016	
5	A 小	16.2	0.83	6.7	17.6	1.35	0.057	0.013	0.166	0.030	0.032
	B 大	15.2	0.65	5.4	14.3	2.30	0.046	0.030	0.179	0.031	0.022
6	A 小	16.3	0.90	7.5	18.9	1.56	0.078	0.018	0.156	0.026	0.027
	B 大	8.0	0.51	3.0	10.7	1.19	0.036	0.014	0.102	0.018	0.027
7	A 無	21.1	1.29	8.2	23.9	3.26	0.084	0.019	0.160	0.032	0.035
	B 小	17.7	0.93	6.4	18.3	3.22	0.056	0.025	0.143	0.026	0.025
	C 大	14.4	0.83	4.7	16.1	2.76	0.057	0.026	0.156	0.025	0.026
8	A 小	11.3	0.60	5.0	12.6	1.20	0.042	0.012	0.084	0.014	0.011
	B 大	7.6	0.39	2.3	10.5	0.93	0.028	0.013	0.070	0.011	0.007

を、また10月26日採取の $\text{No.} 5 \sim 8$ については果皮と果肉を分けて乾燥し分析に供した。果汁の分離は行なわなかった。

果実養分のうち、干害の影響が比較的大きなものはNで、干害を受けた樹では果皮、果肉ともN含有率の高いことが認められた。また10月26日に採取した果実のMgは葉部と同様に干害果で高い含有率を示した。しかしKは干害果で増大する場合が多く、Caは干害果で低下の傾向がみられたことは葉の場合と趣を異にした。その他P, Na, Fe, Mn, Bなどはいずれも一定の傾向が見られなかった。筆者が現在実施中の土壤水分系に関するミカンのポット試験では、幼果中のK含有率は土壤水分の欠乏にともなって低下することを認めており、本調査の結果とは必ずしも合致しないが、この点についてはなお他の条件との関係をも含めてさらに検討を要するところである。

つぎに、果実養分相互間の濃度(m, e)比によれば、N/P, N/Kは干害果が高く、葉の場

合と合致する。しかしCa+Mg/K+Naは干害果が低く、これは葉の場合とは逆である。また、Fe/Mn, K/Oa, K/Mgなどは干害との関係が必ずしも明らかでなかった。

このように、土壤水分の欠乏は体内の通水蒸散作用を抑制するとともに、養分吸収の平衡を攪乱し、正常な生育を阻害する一要因をなしているものと推察される。

3) 干害ミカン葉の養分吸収量

ミカンの葉1枚当りの養分吸収量は第9表のとおりである。

上記のように、干害葉の重量は非干害葉に比べて著しく低いため、葉1枚当りの各無機養分含有量は一部($\text{No.} 4, 5$ のMg, $\text{No.} 5, 7$ のMnなど)を除いていずれも干害葉で低く、土壤水分の欠乏にともない養分の吸収が抑制されることを示した。

4) 干害ミカン果実の養分吸収量

干害ミカン果実の1箇当り無機養分吸収量は第10表のとおりである。

第10表 干害ミカン果実の養分吸収量

		(mg/果)									
部位	No.	干害程度	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	B
果実	1	A 小	125	14.8	145	80	15.8	0.78	0.53	0.17	0.19
		B 大	110	12.5	118	61	11.3	0.65	0.48	0.10	0.14
	2	A 小	260	29.7	284	138	27.1	0.17	1.14	0.17	0.36
		B 大	108	10.6	130	47	10.1	0.78	0.40	0.17	0.13
	3	A 小	121	13.4	122	50	16.7	0.67	0.65	0.12	0.17
		B 大	57	5.2	56	22	5.7	0.57	0.24	0.04	0.08
4	A 小	325	32.0	354	180	42.0	2.52	1.22	0.24	0.43	
	B 大	258	24.8	248	99	31.0	1.56	0.84	0.13	0.30	
果皮	5	A 小	66	4.0	48	78	7.1	0.04	0.33	0.04	0.17
		B 大	45	2.9	40	20	5.2	0.41	0.18	0.02	0.07
	6	A 小	224	15.4	232	170	22.6	2.52	1.39	0.21	0.39
		B 大	120	9.7	110	58	15.5	1.10	0.37	0.11	0.17
	7	A 無	82	5.6	64	75	12.3	0.67	0.32	0.05	0.20
		B 小	63	4.4	47	44	10.6	0.59	0.20	0.03	0.13
C 大	46	3.1	39	25	6.2	0.39	0.16	0.03	0.08		
8	A 小	52	3.8	47	29	4.7	0.61	0.19	0.03	0.08	
	B 大	33	2.0	32	26	2.8	0.39	0.12	0.03	0.06	
果肉	5	A 小	116	15.7	143	30	9.7	0.91	0.48	0.07	0.11
		B 大	60	6.2	57	6	4.1	0.30	0.17	0.05	0.04
	6	A 小	358	53.5	414	84	22.6	1.63	0.84	0.10	0.25
		B 大	148	15.4	110	24	8.6	0.50	0.24	0.05	0.10
	7	A 無	121	16.0	139	23	9.9	0.65	0.62	0.05	0.09
		B 小	113	13.0	115	16	8.5	0.50	0.65	0.07	0.08
C 大	64	7.2	60	8	4.4	0.24	0.27	0.04	0.04		
8	A 小	93	10.6	109	12	6.4	0.58	0.24	0.05	0.06	
	B 大	61	7.1	70	11	4.3	0.33	0.23	0.03	0.03	

第11表 干害ミカン果肉の窒素化合物含有率 (%)

No	干害程度	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(d)
		全N	蛋白N	水溶N	無機N	NH ₄ -N	NO ₃ -N	(a)	(c)
5	A 小	0.96	0.28	0.68	0.028	0.023	0.005	71	4.1
	B 大	1.25	0.31	0.94	0.035	0.028	0.007	75	3.7
6	A 小	1.27	0.46	0.81	0.065	0.041	0.024	64	8.0
	B 大	1.88	0.58	1.30	0.095	0.070	0.025	69	7.3
7	A 無	0.98	0.27	0.71	0.024	0.018	0.006	73	3.4
	B 小	1.13	0.30	0.83	0.026	0.018	0.006	73	3.1
	C 大	1.21	0.25	0.96	0.031	0.023	0.006	79	3.2
8	A 小	1.01	0.24	0.77	0.024	0.021	0.003	76	3.1
	B 大	1.06	0.26	0.80	0.026	0.023	0.003	76	3.3

干害ミカン果実の重量は前記のように葉の場合と同様に著しく低い。したがって各養分の1箇当り含有量はいずれも干害果の方が顕著に低く、土中水分の長期枯渇が果実の養分吸収を抑制することを示した。

5) 干害ミカンの窒素化合物

No 5~8の果肉について形態別の窒素を測定した結果は第11表のとおりである。

各形態窒素の含有率では全N, 蛋白態N, 水溶性N, 無機態Nなどはいずれも干害果の方が高い一方、全Nに対する水溶性Nの割合は、干害果の方が高い傾向がある。

また、果実1箇当りの各形態窒素含有量は第12表のようで、干害果の方が著しく少ないとはいうまでもない。

第12表 干害ミカン果肉の窒素化合物含有量 (mg/果)

No	干害程度	全N	蛋白N	水溶N	無機N	NH ₄ -N	NO ₃ -N
5	A 小	166	34	82	3.4	2.8	0.6
	B 大	60	15	45	1.7	1.3	0.4
6	A 小	358	130	228	182	11.5	6.7
	B 大	148	48	102	7.5	5.5	2.0
7	A 無	121	33	88	3.0	2.2	0.8
	B 小	113	30	83	2.6	1.8	0.8
	C 大	64	13	51	1.6	1.2	0.4
8	A 小	93	22	71	2.2	1.9	0.3
	B 大	61	15	46	1.5	1.3	0.2

土壌水分とミカン果実の窒素化合物との関係についての報告はまだほとんど見かけない。稲田¹³⁾

は土壌水分と作物の窒素化合物との関係についての既往の成績をとりまとめ、水分欠乏によって作物の蛋白質の合成阻害または分解促進が起る場合がある一面、土壌が乾燥するほど各形態N含有量が増大する例をあげ、富田ら⁷⁾はミカン葉の水溶性Nは土壌水分欠乏条件で増大することを認めている。

この調査では、干害葉についての形態別Nの分析を欠いているが、干害をうけたミカンは葉のみならず、果実においても水溶性Nの割合が増大し、干害果は全Nの多い場合に蛋白の合成抑制あるいは蛋白の分解促進を起しているものと推察され、これはいずれにしても土壌水分の欠乏による体内窒素代謝の攪乱を示唆するものと解される。

6) 干害ミカン樹の炭水化物

調査ミカン樹の葉および果実について、糖類の含有量を測定した結果は第13, 14表のとおりである。

第13表 干害ミカン葉の炭水化物含量

No	樹種	干害程度	1枚当り乾重	乾物中%			1葉中mg		
				全糖	還元糖	非還元糖	全糖	還元糖	非還元糖
1	普通温州	A 小	0.54g	3.65	1.73	1.92	19.7	9.3	10.4
		B 大	0.33	2.01	1.40	0.61	6.7	4.6	2.1
2	早生温州	A 小	0.64	2.98	1.54	1.44	19.1	9.9	9.2
		B 大	0.38	3.25	1.65	1.60	12.4	6.3	6.1
4	夏ミカン	A 小	0.41	2.36	1.35	1.01	9.7	5.5	4.2
		B 大	0.33	1.96	1.05	0.91	6.5	3.5	3.0
5	普通温州	A 小	0.52	2.03	0.93	1.10	10.6	4.8	5.8
		B 大	0.46	2.36	1.08	1.28	10.9	5.0	5.9
6	夏ミカン	A 小	0.60	2.98	1.08	1.90	17.9	6.5	11.4
		B 大	0.34	3.04	1.51	1.53	10.3	5.1	5.2
7	普通温州	A 無	0.76	2.77	1.11	1.66	21.0	8.4	12.6
		B 小	0.62	2.56	1.00	1.56	15.9	6.2	9.7
		C 大	0.52	2.70	1.05	1.65	14.0	5.5	8.5
8	早生温州	A 小	0.40	3.43	1.35	2.08	13.7	5.4	8.3
		B 大	0.28	3.43	1.29	2.14	9.6	3.6	6.0

まず、葉部についてみると、含有率では還元糖ならびに非還元糖ともに干害の影響が必ずしも明らかでない。しかし葉1枚当りの含有量からみると各糖ともに干害葉が著しく低い場合が多い。

一方、果実乾物中の糖含有率をみれば、還元糖、非還元糖ともに干害果で低い傾向がある。しかし、生果中の水分は干害果の方が少ないため、糖含有率を生果に換算すれば干害果の方が高くなる場合が多い。このことからすれば、一般に寒雨地帯のミカンは果汁中の糖度が高いといわれるが、これ

第14表 干害ミカン果実の炭水化物含量

部位	No	樹種	1果重	乾物中%			生果中%			1果中g			
				全糖	還元糖	非還元糖	全糖	還元糖	非還元糖	全糖	還元糖	非還元糖	還元糖
果実	1	A 普通	12.3 [♂]	19.2	16.1	3.1	3.70	3.11	0.59	2.36	1.98	0.38	
		B 温州	9.6	16.5	14.0	2.5	3.66	3.11	0.55	1.58	1.34	0.24	
	2	A 早生	24.7	16.5	13.4	3.1	2.65	2.14	0.51	4.08	3.31	0.77	
		B 温州	10.6	24.3	20.0	4.3	4.86	4.00	0.86	2.58	2.12	0.46	
	3	A 普通	10.3	17.3	13.9	3.4	3.65	2.94	0.71	1.78	1.43	0.35	
		B 温州	5.2	18.4	15.1	3.3	3.95	3.25	0.70	0.96	0.79	0.17	
4	A 夏カ	26.6	14.3	10.9	3.4	4.05	3.09	0.96	3.80	2.90	0.90		
	B ミン	16.5	11.6	7.0	4.6	4.24	2.56	1.68	1.92	1.16	0.76		
果肉	5	A 普通	12.1	50.0	40.3	9.7	5.44	4.40	1.04	6.05	4.88	1.17	
		B 温州	4.8	39.7	34.2	5.5	6.48	5.68	0.90	1.90	1.64	0.26	
	6	A 夏カ	28.1	23.4	19.4	4.0	2.80	2.31	0.49	6.59	5.46	1.13	
		B ミン	7.9	17.5	14.0	3.5	3.52	2.81	0.71	1.38	1.10	0.28	
	7	A 普通	12.3	47.3	37.6	9.7	5.40	4.29	1.11	5.82	4.63	1.19	
		B 温州	10.0	42.0	33.6	8.4	6.05	4.84	1.21	4.20	3.36	0.84	
8	A 早生	9.2	48.7	39.2	9.5	6.87	5.45	1.42	4.48	3.60	0.88		
	B 温州	5.7	47.3	38.6	8.7	6.44	5.25	1.19	2.70	2.20	0.50		

は必ずしも糖類の生産量が高いことを意味するものではないと考えるべきであろう。

また、1果当りの糖含有量は、葉の場合と同様に干害果が著しく低い。全般的にみて、葉および果実中の糖含量は窒素含量と逆比例的関係にある。

土壤水分の多少は作物の蒸散、呼吸作用ならびに光合成機能を通じて、炭水化物の代謝に影響することはいうまでもなく、一般に土壤水分が減少すると澱粉含量は減少し、糖類は増加する傾向が認められる¹⁴⁾。しかし実際に作物が水分欠乏を起こして萎凋する過程における炭水化物の消長は決して単純なものではなく、萎凋の初期には不溶性炭水化物の加水分解によって蔗糖が増加するが、漸次蔗糖の減少と単糖類の増加に移り、最後には両者とも減少する¹³⁾場合がある。本調査において、葉中糖類含有率が必ずしも一定の関係を示していないのは、葉中糖類の分解過程が必ずしも同一段階にないことを示唆するものと推察される。

一般に作物の炭水化物代謝は常に窒素代謝と対立した関係にあり¹⁵⁾、小林¹⁶⁾は既往の知見を引用し、果樹では窒素の吸収が炭水化物の生成に比べて減少すると、体内に炭水化物が集積し、生長はやや衰えるが結実は良好になるとしている。また筆者ら²⁾も先にミカン樹体の糖含有率とN含量との間に負の相関を認めたが、この両成分の

拮抗関係にはこの場合、土壤水分条件が大きく関与しているものと推察される。

4. 摘 要

西日本の各地域では、昭和42年夏秋季に未曾有の大干魃に見舞われ、果樹とくにミカンは甚大な干害を受けた。その実態を把握して対策樹立に資するため、愛媛県南予地帯のミカン園を調査し、干害ミカン園の立地条件を明らかにするとともに、干害ミカン樹の養分吸収特性を検討した。結果の概要はつぎのとおりである。

(1) 干害の甚だしいミカン園は、急傾斜の排水地形に位置し、土壤は礫が多く粗粒質の土性で土層は浅い。また敷草量が少なく土壤管理が粗放であるなどの立地的特徴があった。

(2) 干害程度の重いミカンの葉は、軽度のものに比べて一般に小形で、水分含量も低かった。また干害果実は大が抑制せられ、果肉歩合および水分が低く、裂果、ユズ肌果などの異常果が多くみられた。

(3) 干害葉の養分含有率は、干害軽度のものに比べてKが低く、逆にMgの高いことが特徴で、その他Ca Mn Naは概して高く、Bは低い傾向にあったが、P, Fe, Cuなどは干害との関係が明らかでなかった。干害果実是一般にNが高いがKなどの塩基類は葉の場合と趣を異にした。

(4) ミカン果肉の窒素化合物含有率は、全N、蛋白態N、水溶性N、無機態Nなどいずれも干害果の方が高いが、全Nに対する蛋白態Nの割合は干害果の方が低かった。また生果中の糖含有率は干害果で高いが、乾果中の糖含有率は干害果で低い傾向がある。

以上のように、ミカン樹は干害によって体内の栄養生理作用が円滑を欠き、これが正常な発育の阻害する一因をなしているものと推察された。

引用文献

- 1) 山崎清功, 川村秋男(1963): 傾斜地における土壤水分の行動に関する研究, 四国農業試験場報告, 8 185~204
- 2) 山崎清功, 川村秋男(1967): 土壤水分系とミカンの生育に関する研究, 四国農業試験場報告, 17 13~46
- 3) 村山 登, 他4名(1955): 水稲の生育に伴う炭水化物の集積過程に関する研究, 農業技術研究所報告, B4, 123~166
- 4) 鈴木鉄男, 金子衛, 田中実(1967): カンキツ幼樹の生育と結実に及ぼす時期別土壤乾燥処理の影響, 園学雑, 36 389~398
- 5) 宮武貞男, 高原隆生(1966): 温州ミカンのかん水に関する研究, 園芸学会昭和41年研究発表要旨, 15~16
- 6) 湯田英二, 他3名(1966): 温州ミカンに及ぼす土壤水分と施肥濃度の影響, 園芸学会昭和41年研究発表要旨, 17~18
- 7) 富田栄一, 東史郎(1967): 夏季の土壤水分と温州ミカンの生育について, 園芸学会昭和42年研究発表要旨, 110~111
- 8) 葦沢正義, 中条利明(1967): 香川県における果樹園の干害に関する研究, 園芸学会昭和42年研究発表要旨, 118~119
- 9) 栗山隆明, 白石真一(1967): 温州ミカンの品質に関する研究, 園芸学会昭和42年研究発表要旨, 132~133
- 10) 小林 章(1958): 果樹の栄養生理, 6~9
- 11) 森田義彦(1955): 果樹園土壤の研究, 農業技術研究所報告 E4 1~144
- 12) WADLEIGH, C.H. and RICHARDS L. A (1958): 植物栄養新説(トルオーグ編, 谷田沢道彦訳) 344~375
- 13) 稲田勝美(1957): 作物の生理生態(戸町義次他編) 302~312
- 14) 玉井虎太郎(1964): 作物生理講座(3) 55~63
- 15) 村山登(1957): 作物の生理生態(戸町義次他編) 98~109
- 16) 小林章(1958): 果樹の栄養生理 29~45