## カンキツの簡易栄養診断法の開発と

## それによる安定生産および樹勢強化に関する研究\*

Development of Simple Nutritional Diagnosis Method and Studies of Annual Stable Bearing and Enrichment on Vigor of Citrus Tree

> 杉山泰之 Yasuyuki Sugiyama

\*千葉大学大学院園芸学研究科学位審査論文 2008年(平成 20年)

序 文

静岡県におけるウンシュウミカンは平成 19 年現在で栽培面積 6,350ha、生産量 146,200t、生産額 188 億円と県内の果樹生産の主要な作目です。しかし、ウンシュウミカンには 1 年ごと成り年と不成り年を繰り返す隔年結果が発生しやすいため、収量や価格が安定せず、農業者収入の不安定要因となっています。

静岡県農林技術研究所果樹研究センター(旧静岡県柑橘試験場)では隔年結 果抑制および高品質果実生産のため、昭和 30 年代から県内のミカン園の樹体栄 養診断を実施し、農業者および関係機関に情報提供をしてきました。

本研究は、生産現場から特に強く要望されていたウンシュウミカンの着花量予 測について研究を進めたものです。事前に着花量の予測ができることで、それ に応じた肥培管理が可能となり、隔年結果を是正する対策が可能となります。 また、農協や県普及指導機関でも実施可能な簡易栄養診断法を開発したことに より、多くの農業者に情報が提供できるようになりました。

なお、本報告は杉山泰之主任研究員が、本研究論文により千葉大学から博士(農学)の学位を授与されたのを機に特別研究報告として取りまとめたものです。

結びに、この研究の推進、並びに論文の取りまとめなどに御協力、御指導を 賜った関係の皆様に深く感謝の意を表します。

平成 21 年 9 月

静岡県農林技術研究所長

正広 谷

序・・	•	•••	••	•	•••	•	•	• •	•	•	•	•	•	•		• •	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	1
第1章		静岡	]県(	こお	3け.	るり	ウン	バシ	ゴ	ウ	11	力: 力:	~0	り 棱	挧	「栄	養	状	態	の打	惟利	侈	と	隔	年	結	果	性	Ŀ	の	関	係		
	1.	緒言	<b>†</b> •			•			•			•		•		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	3
	2.	材彩	斗お	よて	ブ方	法			•	•		•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	3
	3.	結果	長																															
		(1)	Ē	周査	樹に	こま	るけ	トる	着	果	数の	刀 <sup>左</sup>	毛渕	マ変	化	<u>.</u> •	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	4
		(2)	Ē	周査	]園(	の す	套中	□無	機	成	分言	含す	有率	国の	年	次	変	化	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	4
		(3)	1	退中	デ	ンフ	プン	<i>ب</i> ک	着	果	数の	D <sup>企</sup>	手ど	文変	:íŁ	<u>í</u> .	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	6
	4.	考察	案・	•	••	•	•	•••	•	•	•	•	•	•		• •	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	6
第9音		ウン	~~/	,ウ	13.	カ、	×σ	う蓮	柄	洲	洃	<b>†</b>	刀石	省西	è/	י <i>ד</i>		澧	庫≀	-	ት <i>ጋ</i>	ス!	業	義	診	紤								
N10-+-	1	/ •	÷.	• •			•	• •	•	•	•	•	•	•••	< 1 • •			•		•	•	•	•	•	•	•								8
	2	材料	- 4お	よて	ド方	法						•				•	•								•		•		•					8
	<b>-</b> . 3	結果	140 1	5	, /3	14																												0
		(1)	` {	省酸	:イ:	オン	/σ.	)分	析	部	付な	の柞	合言	<del>.</del>		•		•							•						•			9
		(2)	Ē	いたい しょうしん しんしん しんしん しんしん しんしん しんしん しんしん しんし	i⊁+≯	夜山	中硝	ഞ	イ	オ	レル	農店	です。 使に	, こよ	7	栄	卷	診[	新る	Dì	商ţ	抈						•		•	•		•	10
		(3)	,	ト型	巨道	対す	」 式	唐	, 計	に	よ "	式 石 石	~、	- 0. タイ	ر الا	-ン	濃	度	フ) D)	们	亡 定	•			•						•			11
	4	老妪	₹.	•	•••	•	•		•	•		•	•	•		•	•	~	•	•	•						•				•			12
		5 714	`																															
第3章		窒素	施	把量	kと:	±‡	襄改	女良	資	材	$\mathcal{O}_{i}^{i}$	違	いえ	がえ	コン	/‡	ッツ	'不	、知	吙	?T	)枝	讨化	≰⊴	ŧī	育	• =	果乳	実¦	日月	質	•		
		樹体	栄	養状	:態:	お。	よて	ド根	量	に	及日	<b>I</b> -	す景	钐鋆	ß																			
	1.	緒言	i ·	•	•••	•	•	•••	•	•	•	•	•	•	• •	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	13
	2.	材彩	斗お	よて	ブ方	法	•	• •	•	•	•	•	•	•	• •	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	13
	3.	結果	長																															
		(1)	窒	素旗	包肥	量;	がね	尌付	生	:育	に	及	ぼ	す景	长著	兆・	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	16
		(2)	窒	素旗	包肥	量;	が川	又量	お	よ	び	果	実	品質	質に	こ及	ぼ	す	影	響	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	16
		(3)	窒	素放	面肥	量;	が美	案中	ョ無	〔機	成	分	含	有≊	容に	こ及	ぼ	す	影	響	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	18
		(4)	窒	素旗	包肥	量;	がす	裏柯	誗	·液	中	硝	酸-	イブ	1:	ノ濃	度	に	及	ぼ	す	影	響	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	19
		(5)	土	壤改	女良	資	材ź	ыŦ	:壤	物	理	性	お。	よて	ド_	上墳	化	学	性	に	及	ぼ	す	影	響	<u>.</u>	•	•	•	•	•	•	•	20
		(6)	土	壤改	女良	資	材る	と窒	素	施	肥	量	がね	樹位	本生	Ė長	お	よ	び	樹	体	栄	養	状	態	いて	及	:E	゙゙す	影	響	ß	•	21

目 次

	(7) 土壌改良資材と窒素施肥量が収量および果実品質に及ぼす影響・・・・・22										
	(8) 土壌改良資材と窒素施肥量が根量および根の活性に及ぼす影響・・・・・23										
4.	考察・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・24										
第4章	ウンシュウミカンの栄養診断のためのヨウ素比色法によるデンプン簡易測定法										
1.	緒言・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・28										
2.	材料および方法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・28										
3.	結果										
	(1) ヨウ素比色法におけるデンプン抽出法の検討・・・・・・・・・・29										
	(2) ヨウ素比色法と従来法によるデンプン測定値間の関係・・・・・・・29										
4.	考察・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・30										
第5章	第5章 ウンシュウミカン'青島温州'の樹体内デンプン含有率の時期的変化と冬季の根中										
	デンプン含量による着花量予測										
1.	緒言・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・33										
2.	材料および方法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・33										
3.	結果										
	(1) 樹体内デンプン含有率の時期変化・・・・・・・・・・・・・・・34										
	(2) 秋季から春季における光合成速度・・・・・・・・・・・・・・・35										
	(3) 生産現場における根中デンプン含有率と収量および翌年の										
	着花量との関係 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・36										
4.	考察・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・37										
第6章	総合考察 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・39										
摘 要											
Summar	y • • • • • • • • • • • • • • • • • • •										
引用文献											

## 日本におけるカンキツの栽培はウンシュウミカン などのミカン類を筆頭に、数多くの品種が栽培され ている. 2006年の栽培面積は全国で 83,530ha であ るが、そのうちウンシュウミカンが 64%の 53,500ha と最も多い(農林水産省大臣官房統計部生産流通消 費統計課, 2007).また、近年では中晩柑類の栽培面 積も増加しており、新品種で人気の高いカンキツ'不 知火'(商品名:デコポン)は 2005年現在で 3042ha と急増している(農林水産省生産局園芸課編, 2007).

カンキツ類は温暖な気候の下でしか栽培できない 果樹であるが、その着花特性から、1年ごと成り年と 不成り年を繰り返す隔年結果が起こりやすい.隔年 結果は農業経営上重大な問題であり、隔年結果是正 のために様々な研究が行われてきた(Goldschmidt・ Golomb, 1982;伊東ら、1958a;伊東ら、1958b; 岡田, 2004;大垣ら、1963a;大垣ら、1963b;大垣 ら、1965;大垣ら、1966;大垣ら、1967;大城ら、 1989;大城ら、2000;清水ら、1976;清水ら、1978).

また,近年栽培面積が増加している'不知火'で は,隔年結果に加え,従来と同様な肥培管理をする と樹勢が弱化してしまうという問題もある.適正な 施肥量が明らかになっていなかった栽培当初では, 樹勢強化のため窒素肥料の多量施用が行われ,土壌 環境の悪化により,さらに樹勢が弱化するという現 象もみられた(岡島, 1999).

このため、カンキツの隔年結果を抑制し、適正な 肥培管理を行うためには、樹体の栄養状態を客観的 かつ正確に判断する必要があった.

アメリカでは無機成分の欠乏症が葉中の成分含有 率に反映されたことから,1936年頃から葉分析によ り果樹園施肥量の過不足の程度を知る栄養診断を行 い,施肥量の適否を判定しようとする考え方が発展 してきた(石原,1982).

日本でも戦後に農林省園芸試験場で葉分析が行わ れ,1960年代に入ると、日本全国で葉分析が伴った 近代的な施肥試験が盛んに行われた.静岡県におい ても1961~1971年,1978~1980年に,静岡県柑橘 農業協同組合連合会(現静岡県経済農業協同組合連 合会)の協力のもと、大規模な生産現場の栄養診断 事業が行われ,葉中無機成分の基準値が設定された. このように、葉分析による栄養診断は、ウンシュウ ミカンの肥培管理方法の発展に大きく寄与してきた. しかし隔年結果や着花量については,葉中無機成分の分析のみでは,はっきりしない部分であった.

一方,隔年結果の研究を進める中で,大垣ら (1963b)は、着花が予想される良い結果母枝では、 そうでない結果母枝よりもデンプン含有率が高いこ とを報告した.また、Goldschmidt・Golomb (1982) は着果樹と無着果樹を解体調査し、それが最もよく 反映される部位は根のデンプンであることを報告し た.この結果を受け、静岡県では県内の21 園地につ いて、1989~1991年の3年間炭水化物の調査を行っ た.その結果、大城ら (2000)は根のデンプン含有 率で栄養診断を行うことが可能であり、さらにその 値で次年度の着花量の予測もできることを示唆した. 岡田(2004)も秋季(11月)の葉と根の炭水化物含 有率は着花及び生産量を予測するうえで重要な指標 になると報告した.

前述したとおり, 葉中の無機成分を指標にした栄 養診断法はすでに海外で確立されていたが, 根の炭 水化物含有率を指標に栄養診断が可能であるという 報告は, とても画期的なものであった. 仮に, 冬季 に樹の栄養状態や次年度の着花量がわかれば, 隔年 結果を是正するための剪定や肥培管理ができ, 安定 生産が可能になると予想された. しかし, 炭水化物 含有率(特にデンプン)の測定は煩雑な操作が必要 なうえ,分析に長時間を要するため,生産現場の多 量の試料の分析は時間的・労力的に難しく, 現実的 には炭水化物を指標とした栄養診断は不可能であっ た.

今回は、第1章において、11年間の生産現場の栄 養診断から、葉中無機成分の推移を明らかにすると ともに、隔年結果と根中デンプン含有率の関係を検 討した.第2章では葉柄汁液中の硝酸イオン濃度で 窒素の栄養状態を把握する簡易栄養診断法を開発し、 第3章ではその方法を利用し、カンキツ'不知火' の樹勢強化および隔年結果是正のための適正な窒素 施肥量および土壤管理法を明らかにした.第4章で は、従来分析が煩雑で長時間を要したデンプンを生 産現場において短時間で精度よく分析できる簡易分 析法(ヨウ素比色法)を考案し、その実用性を検討 した.第5章では、この方法を用い、成り年樹と不 成り年樹の部位別デンプン含有率を経時的に調査す ることで、適正な試料採取時期を検討した.また、

## 序

県内の代表的な21 園地(105 樹)の温州ミカンの根 中デンプン含有率と収穫量および次年度の着花量の 関係を3年間調査し、冬季の根中デンプン含有率に よる着花量予測法を提案した。

本論文の作成にあたり,終始ご親切なご助言,ご 示唆をいただき,かつご高閲賜った千葉大学園芸学 部教授 近藤悟博士,准教授 小原均博士,教授 篠原温博士,教授 田代亨博士,教授 渡邉幸雄博士, 助手 大川克哉博士に心より感謝の念を表す次第で ある.また,終始ご教示,ご激励をいただいた千 葉大学名誉教授 松井弘之博士,千葉大学名誉教授 平田尚美博士に謹んで感謝の意を表する.

実験期間中,数々のご配慮,ならびにご激励を頂いた,元静岡県柑橘試験場 古橋嘉一場長,元静岡 県柑橘試験場 岡田正道場長の各位に感謝の意を表 する.

また,調査および実験の遂行に際して貴重なご意 見をいただき,かつご協力いただいた,元静岡県柑 橘試験場 大城晃西遠分場長,元静岡県柑橘試験場 久田秀彦研究技監,静岡県農林技術研究所果樹研究 センター 吉川公規主任研究員,静岡県志太榛原農 林事務所 濵崎櫻副主任(前静岡県柑橘試験場技師), 静岡県環境衛生科学研究所 江本勇治副主任(前静 岡県柑橘試験場技師),静岡県農林技術研究所果樹研 究センター 澤野郁夫研究主幹,並びに関係研究職 員各位に,心より感謝の意を表する.

さらに実験圃場の運営管理および試料調整におい ては,元静岡県柑橘試験場 若杉勲技能長,並びに 静岡県農林大学校学生諸君,アルバイトの皆さんの ご協力をいただいた.

また,現地調査においては元静岡県農業経済協同 組合連合会 杉山博茂部長,静岡県農業経済協同組 合連合会 川村芳利係長をはじめ多くの静岡県農業 経済協同組合連合会職員,各農業協同組合技術員, 静岡県農林事務所の皆様のご協力を頂いた.

なお,第1章における現地調査の一部(1990~ 1995年)は大城晃氏,吉川公規氏,小栗伊佐夫氏, 久田秀彦氏,河村精氏,片山晴喜氏,大石剛士氏, 神村康之氏により実施され,そのデータを活用させ ていただいた。

ここに記し、心より感謝の意を表する次第である.

## 第1章 静岡県におけるウンシュウミカンの樹体栄養状態の推移と 隔年結果性との関係

#### 1. 緒 言

葉中無機成分含有率には樹体の肥料成分吸収状態 や栄養状態が反映されることから(石原,1982), ウンシュウミカンでは葉中無機成分による栄養診断 が広く行われている.静岡県では生産現場の栄養診 断を1961年から,長年行ってきており,それらの結 果から葉中無機成分の基準域を設定し,施肥改善, 栄養状態改善の対策に生かしてきた.1989年からは 冬季の根中デンプン含有率を調査し,収量および次 年度の着花数との関連を検討してきた.その結果, 根中デンプン含有率が栄養診断の指標となりうるこ とを示した(大城ら,2000).

一方,着果量と葉中無機成分含有率や根中炭水化 物量との関連性についての報告は,調査が試験研究 機関内で行われたものが多く,生産現場で長期にわ たり栄養診断を実施し,取りまとめた報告はない.

そこで,静岡県内の各産地におけるウンシュウミ カン '青島温州'の代表園での近年11年間の栄養状 態 (葉中無機成分含有率,根中デンプン含有率)と 着果数の関係を調査し,生産現場での現状と問題点 について知見が得られたので報告する.

#### 2. 材料および方法

調査園・樹は,県内各産地における代表的な'青 島温州'21園から,各園5本ずつ標準的な樹を選定 した.調査は1990年~2000年まで11年間実施し, 毎年11月下旬~12月上旬に1樹当たり着果数を測定 した.分析に供する葉と中根(太さ5mm前後)を 以下の方法で採取した.葉は目通りの高さにある不 着果新梢(枝の角度は水平からやや上向き)の中位 葉(春葉)を,葉身のみ,1樹当たり20~30枚東西 南北均等に採取した.根は樹冠下の深さ0~20cm に存在する太さ5mmの中根を,幹と対角線上の2 方向から1樹当たり合計50cm程度採取した.葉に ついては無機成分(N, P, K, Ca, Mg, Mn, Zn, B) を1樹ごと,根についてはデンプンを5樹ごと調査 した.土壌は各園から作土層の深さ20cmまでを採 取した.

葉の分析方法について, 窒素は NC アナライザー (NC-800, 住化分析センター), リンはバナドモリ ブデン酸法, ホウ素はクルクミン法, その他の無機 成分は原子吸光分光光度計(AA-400A, VARIAN) を用いた. 1999 年と 2000 年は窒素以外の無機成分 を ICP 発光分光分析装置(SPS3000, SII)で測定 した.

根のデンプンの分析方法は大城ら(2000)の方法 で行った.

土壌化学性の分析は, pH は水(1:5) で振とう 後に電極法で,交換性塩基は1M 酢酸アンモニウム 液で抽出後,原子吸光分光光度計で分析した.また, 可給態リン酸はトルオーグ法によった.

## 第1表 ウンシュウミカン '青島温州'の代表園における1樹当たり着果数と根中デンプン含有率平均値の年次変化 (Table 1. Annual changes in average starch content of roots and average number of set fruit per tree in an orchard of Satsuma Mandarin 'Aoshima Unshu'.)

項日					調	査	年				
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
着果数(個)	531	484	769	Z	544	513	547	534	511	582	369
士標準偏差	251	278	354	—	247	282	335	235	321	338	336
根中デンプン含有 率 (mg・g <sup>-1</sup> DW)	30.3	40.1	25.0	20.9	19.9	38.8	33.7	18.6	17.1	25.6	40.1
土標準偏差	33.3	40.3	14.1	14.9	16.1	36.3	18.5	13.3	10.4	3.77	35.6

z:1993年の着果数は未調査

<b>毎</b> 越武公					調	Î	Ĩ	年					甘 滩 ht y
恶愤成 刀	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	平均	盔中或
N	$31.6^{z}$	30.4	30.5	31.4	31.7	31.7	32.2	30.9	29.5	30.3	29.5	30.9	28.0-33.0
$mg \cdot g^{-1}DW$	$\pm 2.0$	$\pm 1.5$	$\pm 2.0$	$\pm 2.7$	$\pm 1.4$	$\pm 1.8$	$\pm 1.4$	$\pm 1.6$	$\pm 1.2$	$\pm 2.2$	$\pm 1.9$		
Р	1.63	1.60	1.46	1.63	1.60	1.56	1.66	1.59	1.74	1.66	1.67	1.62	1.00-1.80
$mg \cdot g^{-1} DW$	$\pm 0.13$	$\pm 0.12$	$\pm 0.14$	$\pm 0.17$	$\pm 0.13$	$\pm 0.10$	$\pm 0.09$	$\pm 0.13$	$\pm 0.15$	$\pm 0.13$	$\pm 0.14$		
K	11.5	8.7	11.1	10.0	10.1	11.3	10.5	12.1	11.8	10.1	12.0	10.8	8.0-15.0
$\mathrm{mg}$ • $\mathrm{g}$ -1 DW	$\pm 1.6$	$\pm 1.5$	$\pm 3.3$	$\pm 2.8$	$\pm 1.6$	$\pm 1.8$	$\pm 1.9$	$\pm 3.3$	$\pm 2.3$	$\pm 2.2$	$\pm 2.1$		
Са	33.7	24.6	41.8	29.9	32.2	29.6	32.9	31.6	26.4	30.8	27.0	30.9	30.0-40.0
$\mathrm{mg}$ • g <sup>-1</sup> DW	$\pm 4.5$	$\pm 4.4$	$\pm 8.3$	$\pm 7.1$	$\pm 5.0$	$\pm 4.5$	$\pm 4.1$	$\pm 6.2$	$\pm 4.7$	$\pm 5.3$	$\pm 4.3$		
Mg	3.23	2.49	3.69	2.92	3.03	2.86	2.95	3.19	2.84	3.47	3.03	3.10	3.00-5.00
$\mathrm{mg}$ • $\mathrm{g}$ -1 DW	$\pm 0.59$	$\pm 0.44$	$\pm 0.83$	$\pm 0.67$	$\pm 0.67$	$\pm 0.50$	$\pm 0.56$	$\pm 0.65$	$\pm 0.55$	$\pm 0.70$	$\pm 0.57$		
Mn	82	83	79	102	108	118	115	118	110	102	101	102	30-100
$mg \cdot kg^1 DW$	$\pm 32$	$\pm 31$	$\pm 26$	$\pm 44$	$\pm 31$	$\pm 26$	$\pm 34$	$\pm 38$	$\pm 39$	$\pm 30$	$\pm 29$		
Zn	24.8	24.4	29.4	28.8	25.4	32.5	28.7	32.7	29.2	32.5	32.3	29.2	30-100
$mg{\boldsymbol{\cdot}} k g{\boldsymbol{\cdot}} 1 DW$	$\pm 7.2$	$\pm 10.2$	$\pm 8.2$	$\pm 12.8$	$\pm 7.6$	$\pm 8.5$	$\pm 9.3$	$\pm 11.1$	$\pm 9.7$	$\pm 14.0$	$\pm 9.1$		
В	122	114	98	86	75	91	54	98	126	109	100	97	30-100
$mg \cdot kg^1 DW$	$\pm 32$	$\pm 25$	$\pm 25$	$\pm 27$	$\pm 29$	$\pm 22$	$\pm 19$	$\pm 26$	$\pm 26$	$\pm 28$	$\pm 23$		

第2表 ウンシュウミカン '青島温州'の代表園における葉中無機成分含有率の年次変化 (Table 2. Annual changes in average mineral concentration of leaves in an orchard of Satsuma Mandarin 'Aoshima Unshu'.)

z:上段は分析値、下段は±標準偏差

y:基準域は静岡県土壌肥料ハンドブックによる

第3署	表ウ	ンシュウミカン	'青島温州'	の代表園にお	ける土壌化学性
(Ta	ble 3.	Chemical prop	erties of so	il in an orchai	rd of Satsuma
	Ma	ndarin 'Aoshim	a Unshu'.)		

1百日				年度			
項日		1992	1996	1998	2000	平均	基準域 y
n II	(40)	$5.00^{z}$	5.22	5.10	5.08	5.10	5.5 - 6.5
pm	$(\Pi_2 \mathbf{O})$	$\pm 0.54$	$\pm 0.74$	$\pm 0.65$	$\pm 0.91$	$\pm 0.71$	
☆搧州カⅡウム	$(ma_1 lra^{-1})$	523	441	663	406	508	150-500
	(IIIg-kg )	$\pm 248$	$\pm 367$	$\pm 381$	$\pm 306$	$\pm 326$	
古塩井カルショウム	(	2539	2222	2348	1784	2223	2600-3800
文換性カルシリム	(mg•kg)	$\pm 1472$	$\pm 1382$	$\pm 1022$	$\pm 1201$	$\pm 1269$	
な協歴マガマシウム	$(ma_1 lra^{-1})$	302	338	424	328	348	550-900
	(IIIg-kg )	$\pm 149$	$\pm 238$	$\pm 189$	$\pm 206$	$\pm 195$	
可給能出、減	$(ma_1 ka^{-1})$	-	742	1136	844	907	200-1000
可加思ソイ政	(mg•kg ')	-	$\pm 483$	$\pm 609$	$\pm 805$	$\pm 632$	

z:上段は分析値、下段は±標準偏差

y:基準域は静岡県土壌肥料ハンドブックによる

## 3. 結 果

### (1) 調査樹における着果数の年次変化

代表園における着果数の平均値を第1表に示した. 1992年と1999年で多いものの、平均値の年次変化 は少なかった(第1表).しかし、個々の園や樹では 隔年結果が発生しており、標準偏差が大きくなった. 最近では1998年と2000年が着果数の少ない不成り 年,1999年が着果数の多い成り年であった.

(2) 調査園の葉中無機成分含有率の年次変化

代表園における葉中無機成分含有率を第2表に示 した.

葉中窒素含有率は基準域の28~33 mg·g<sup>-1</sup>の範囲

リン含有率は基準域の 1.0~1.8 mg·g<sup>-1</sup> の範囲内で 推移し,年次変動は小さかった.また,ほぼすべて の調査樹で基準域にあった.

カリウム含有率も基準域の 8~15 mg·g<sup>-1</sup>で推移した. しかし, 1991年, 1993年, 1994年, 1999年で

低い傾向を示した.カルシウム含有率は基準域下限 値の 30 mg·g<sup>-1</sup>前後,マグネシウム含有率も基準域下 限値の 3.0 mg·g<sup>-1</sup>前後で推移し,両元素とも 1991年, 1998 年と 2000 年で特に低い値となった.

マンガン含有率の平均値は,基準域上限の100 mg·kg<sup>-1</sup>を超えて推移し,1998年以降やや減少傾向 がみられるものの,依然高い含有率であった.



(Fig. 1. Annual changes in starch content of roots and number of set fruit in the orchard exhibiting



number of set fruit in the orchard exhibiting

亜鉛含有率は基準域下限の 30 mg·kg<sup>-1</sup> 前後で推移 し、年次変動も小さかった.

ホウ素含有率は 1990 年から 1996 年まで徐々に減 少した.しかし、その後増加し、基準域の100 mg·kg<sup>-1</sup> を超え、1999 年以降は再び減少した.

代表園の土壌中の pH と塩基含量については第3 表に示した.土壌状態は pH が基準域下限の 5.5 より 低く,交換性カリウム (K<sub>2</sub>O) は 400 mg·kg<sup>-1</sup> と基準 域上限の 500 mg·kg<sup>-1</sup> に近い値,交換性カルシウム (CaO) と交換性マグネシウムは (MgO) はそれぞれ 基準域の下限以下の値で推移した (第3表).

#### (3) 根中デンプンと着果数の年次変化

代表園全体の根中デンプン含有率の平均値の年次 変化を第1表に示した.根中デンプン含有率の年次 変化は変動幅が小さかった(第1表).しかし,調査 園には隔年結果の大きい園と連年結果園がみられた ことから,それぞれの代表園における着果数および 根中デンプンの年次変化の関係を検討した.

隔年結果の激しい園では,年による1樹当たり着 果数が大きく変化し,それに伴い根中デンプン含有 率も着果数の多い年は低く,着果数の少ない年は高 い年次変化を示した(第1図).

一方,連年結果園では、1樹当たり着果数が、毎年 ほぼ同じ値で推移した.根中デンプン含有率は、連 年結果している期間は年次変化が小さかった (第2図).

#### 4. 考察

#### 葉中無機成分含有率の変化

葉中窒素含有率は基準域の範囲で推移したが,不 成り年の1998年と2000年はやや少ない傾向だった (第2表). 無結実樹の秋季の葉中窒素含有率は着果 樹より多くなることが報告されている(石原, 1982). しかし,今回の調査では逆に着果量の少ない年の方 が葉中窒素含有率は低くなった.これは着果量が少 ない樹で新梢,新葉が大きく生育したため,着果量 の多い樹に比べ,葉中の窒素含有率が希釈されたた めと考えられた.

カリウム含有率は1991年, 1993年, 1994年, 1999 年で低く,カルシウム含有率とマグネシウム含有率 は1991年, 1998年と2000年で特に低い値となった. カリウム含有率とカルシウム含有率,マグネシウム 含有率は着果量の影響を受け,着果量が多いとカリ ウムが低く,カルシウムとマグネシウムが高くなる 現象が報告されている(石原, 1982;杉山泰ら, 2001). 従って,栄養診断を行ううえでは着果量の多少も考 慮する必要があると考えられた.

葉中の窒素含有率、リン含有率、カリウム含有率 について施肥量との関連を検討したが、いずれの成 分についても相関がみられなかった(データ省略). この原因として黒ボク土, 黄色土, 赤色土など県下 の様々な産地から試料を採取したことから①土壌の 地力②根域の深さが異なっていたために施肥量がそ のまま葉中無機成分に反映しなかったと考えられた. 次に1963~1971年と1978~1980年の静岡県におけ る樹体栄養状態(静岡県・静岡県柑橘農業協同組合連 合会, 1972;静岡県柑橘農業協同組合連合会, 1981) と比較した(第3図).葉中の窒素含有率、リン含有 率、カリウム含有率は1963年当時とほぼ同じであり、 現在との差は小さかった.また,亜鉛含有率は当時  $45 \sim 60 \,\mathrm{mg} \cdot \mathrm{kg}^{-1}$ だったことから,近年は減少してい る傾向だった. 生産現場における葉中亜鉛含有率は 基準値以下の場合も頻繁にみられるが、それらの園 では亜鉛欠乏の症状は全く発生しておらず、今後は 基準値の見直しが必要と考えられた.

カルシウム含有率は当時35~40 mg·g<sup>-1</sup>, マグネシ ウム含有率は当時4.0 mg·g<sup>-1</sup>, マンガン含有率は当 時40~50 mg·kg<sup>-1</sup> だったことから,近年の葉中カル シウム含有率とマグネシウム含有率は減少, マンガ ン含有率は倍以上に増加していることが明らかにな った.

#### 土壌化学性の変化

調査園の土壌状態はpHが基準より低く,交換性カ リウムは基準域上限値,交換性カルシウムと交換性 マグネシウムは基準域下限値以下であった(第3表). これらのことから,葉中のカルシウム含有率,マグ ネシウム含有率が低く,マンガン含有率が高い原因 は,苦土石灰等のアルカリ資材の施用量不足により, 交換性塩基が不足するとともに,pHが基準域より低 くなることでマンガンの土壌溶液中への溶出量が増 加したためと推察された.また,交換性カリウムが 多いことが交換性マグネシウムの吸収を阻害してい ることも考えられた.実際,生産現場で苦土石灰の 施用量が近年減少していることから,今後は施用す る必要があると考えられた.

## 隔年結果園と連年結果園の 根中デンプン含有率の年次 変化

調査園の中には隔年結果 の大きい園と連年結果園が みられたことから, それぞれ の代表3園における着果数お よび根中デンプンの年次変 化の関係を検討した. 隔年結 果の激しい園では,年による 1 樹当たり着果数が大きく変 化し, それに伴い根中デンプ ン含有率も着果数の多い年 は低く,着果数の少ない年は 高い年次変化を示した(第1 図). 一方, 連年結果園では, 連年結果している期間の1樹 当たり着果数は,変化が小さ かった. 特にD園では毎年結 実し,根中デンプン含有率は, 1994年を除き隔年結果園と 比べて低く推移し, 年次変化 が小さかった (第2図). こ の園で隔年結果園よりデン プン含有率が低かった理由 は不明であるが, 摘果等の結 実管理が毎年適正に行われ たため、着果数がほぼ同じと なり, そのため根のデンプン 含有率もほぼ同じ値で推移し たと考えられた. また, 春 季の着花は有葉果主体で、新 梢,新葉も適度にバランスよ く発生していたことから, 摘 果等による着果数の調整が しやすかったと考えられた.





(Fig. 3. Annual changes in mineral content of leaves of the citrus orchard in Shizuoka )

(1963~1971年の値は柑橘栄養診断事業成績書(1972),1978~1980年の値は柑橘品種系統技術開 発診断事業成績書(1981)より引用)

## 第2章 ウンシュウミカンの葉柄汁液中の硝酸イオン濃度による栄養診断

#### 1. 緒 言

ウンシュウミカンでは、窒素施肥量が多すぎると果 実品質が低下したり(浮皮果の発生、果皮色の着色 遅延,酸高)、マンガン過剰症による落葉が発生した りする.また、逆に施肥量が少なすぎると隔年結果 が発生しやすくなることから、その生育状態や土壌 条件にあった施肥量を把握する必要がある.そのた め、葉中の無機成分含有率が施肥量を反映すること を利用し、葉身の無機分析を行う栄養診断が行われ ている.

この方法は採取した葉を試料調製(乾燥・粉砕)した後,分析に供するため,結果が明らかとなるまで 長期間を要する.また,煩雑な分析操作や高価な分 析機器が必要となるため,試験研究機関で分析する のが一般的である.

しかし,生産現場では,近年の地球温暖化の影響で, 春季と秋季の気温が高まり,ウンシュウミカンの生 態が大きく変化してきていることから,適正量の施 肥を行うために,迅速で簡単にできる樹体の栄養診 断方法が求められている.

一方,温室の野菜では過剰な施肥による障害が発生 し、適正な栄養状態を把握する必要性が高まった. そこで、キュウリ、イチゴ、ナス等の野菜について、 葉柄中の硝酸イオン濃度の多少による栄養診断が六 本木(1991, 1992, 1993)により検討された.この 手法は、葉柄から汁液をニンニク絞り器等で採取し、 硝酸イオン等の濃度から施肥量や無機成分吸収量の 多少を判断するものだが、濃度測定に小型反射式光 度計(RQフレックス, MERCK)を使用することで、 生産現場でも簡単・迅速に測定が可能となった.こ のため、リアルタイム栄養診断として広く普及が図 られ、トマト(山田ら, 1995)、馬鈴薯(建部ら, 2001)、 イチジク(瀧, 2000)などでも実施されてきた.

そこで、ウンシュウミカンにおいても、葉柄汁液中 の硝酸イオン濃度を指標として、生産現場で迅速な 栄養診断するため、試料採取条件を検討した.また、 ウンシュウミカンの葉柄汁液が緑色を呈色しており、 小型反射式光度計で用いる試験紙の発色への影響が 心配されたことから、この機器の実用性を検討した.

#### 2. 材料および方法

#### 試験1 硝酸イオンの分析部位の検討

硝酸イオン濃度による栄養診断を行うため、分析 に適した部位を葉柄と葉身について比較検討した.

供試樹は,静岡県農林技術研究所果樹研究センタ ー(旧静岡県柑橘試験場)内で窒素施肥量試験を行 っている10年生 '青島温州'(1500本・ha<sup>-1</sup>)を用 い,ここから葉柄と葉身を採取し,分析試料とした. 窒素施肥量は半量区(N90g/1樹・年=135kg・ha<sup>-1</sup>), 基準量区(180g),2倍量区(360g)の3段階で, 各区8反復で行った.施肥はFTE 燐硝安加里 S604 (N:16, P:10, K14)により,2001年3月(春肥), 6月(夏肥),11月(秋肥)にそれぞれ年間施肥量の 3分の1を施用した.

2001年9月7日の午前9時頃,1樹当たり10枚 の春葉(樹冠赤道部付近,不着果新梢の中位葉,東 西南北)を採取し,葉柄と葉身を分離した.葉柄(約 0.8g)を薄く切断した後,乳鉢で9倍量の蒸留水とと もに摩砕した.さらに40倍量の蒸留水を加え,メン ブランフィルター(DISMIC 0.45µm, ADVAVTEC,) でろ過した後,液中の硝酸イオン濃度をイオンク ロマトグラフ(DX-100, Dionex)で測定した.測 定値を50倍し,葉柄汁液中の硝酸イオン濃度とし た.また,全ての葉身から均等に,合計1.0gを採 取し,葉柄と同様に乳鉢で摩砕後,イオンクロマト グラフで分析したものを葉身中硝酸イオン濃度とし た.残りの葉身は乾燥・粉砕後,NCアナライザー (NC-800,住化分析センター)で測定し,葉身中全 窒素含有率とした.

### 試験2 葉柄汁液中硝酸イオン濃度による栄養診断の 適期とその基準値

葉柄汁液中硝酸イオン濃度により栄養診断を行う ため、その濃度の経時的変化を明らかにし、栄養診 断の適期を決定しようと試みた.また、併せて葉身 中全窒素含有率を経時的に調査し、比較検討した.

供試試料の葉身と葉柄は試験1と同様に,施肥量 が3段階に異なる樹(旧静岡県柑橘試験場内植栽の 11年生 '青島温州')各8本から,2002年6月から 11月まで,毎月1度,晴天日の午前9時頃,試験1 と同じ要領で採取した.

試料採取日の前日や当日が雨等で葉が濡れている と,分析値は低くなる傾向がみられたことから,晴 天日に採取した.

葉の採取時間に ついては、2002年 7月12日に、8時, 10時,12時,14時 に5本の樹につい て,硝酸イオン濃 度を測定した.そ の結果,分析値は ほぼ同じだったこ とから(第4表), 摩砕作業に要する 時間を考慮し,午 前9時頃を採取時 間とした.

なお,施肥は試 験1と同量を2002 年3月20日(春肥), 6月20日(夏肥), 11月12日(秋肥) に化成肥料で行っ た.

葉柄汁液の採取 方法,硝酸イオン の分析方法,全窒 素の分析方法は, 試験1と同様に行 った.

試験3 小型反射 式光度計による硝 酸イオン濃度の測 定

試験1と同じ樹

から採取した試料

について, 葉柄を摩砕し, 最終的に蒸留水で20倍 と50倍に希釈した. この20倍希釈液は小型反射 式光度計(RQフレックス, MERCK, 使用試験紙: NO<sup>3<sup>-</sup></sup>(測定レンジ5~225 mg·L<sup>-1</sup>))で,50倍希 釈液はイオンクロマトグラフでそれぞれ測定した. この測定値に,希釈倍数を乗じ,葉柄中硝酸イオン 濃度として比較検討した.

#### 3. 結果

#### (1) 硝酸イオンの分析部位の検討

施肥量が異なるウンシュウミカンの葉柄と葉身中

第4表 試料採取時刻がウンシュウミカンの葉柄汁液中の硝酸イオン濃度に及ぼす影響 (Table 4. Effect of picking time on nitrate nitrogen concentration in petiole juice of Satsuma Mandarin.)

				(mg·L <sup>-1</sup> )
調木樹		試料採	取時刻	
动1914的	8	10	12	14
1	2800	2500	2300	2200
2	2400	2300	2200	1800
3	2400	3100	2100	2000
4	2500	2400	2700	2300
5	3300	2600	2900	2900

\* 試料採取日は2002年7月12日, 天気 晴れ

\* 摩砕は試料採取直後に実施

\* 測定は RQ フレックス(試験紙: NO3-, 5~225 mg·L·l) による

#### 第5表 施肥量が異なるウンシュウミカンの葉柄汁液と葉身汁液中の硝酸イ オン濃度および葉身中の全窒素含有率

(Table 5. Effect of nitrogen fertilizer application rate on nitrate nitrogen concentration in petiole and leaf blade juice, and total nitrogen content of leaf blade.)

虎主法师具	硝酸イス	オン濃度	全窒素含有率
至糸旭加里	葉柄	葉身	葉身
	$(mg \cdot L^{-1})$	(mg·L·1)	$(\mathbf{mg} \cdot \mathbf{g}^{\cdot 1})$
半量	1649	98	30.1
基準	2082	137	31.2
2倍量	2460	215	32.2
F検定	**	**	*

\*\*は1%、\*は5%の危険率で有意差あり 反復数 8本

> の硝酸イオン濃度および葉身中の全窒素含有率は 第5表に示すとおりである.葉柄と葉身汁液中の硝 酸イオン濃度は,施肥量が多いほど高くなり,この 傾向は葉身中の全窒素含有率と同様の結果だった (第5表).また,葉柄汁液中の硝酸イオン濃度は葉 身中のそれより高く,約11~17倍であった.また, 葉柄のいずれの汁液も葉緑素由来の緑色を呈してい たが,葉柄汁液の方が色は薄かった.

### (2) 葉柄汁液中硝酸イオン濃度による栄養診断の 適期

葉柄汁液中硝酸イオン濃度の経時的変化は第4回, 葉身中全窒素含有率の経時的変化は第5回に示すと おりである.葉柄汁液中硝酸イオン濃度の推移は, 葉身中全窒素含有率の推移に比べると非常に変化が 大きく,6月から8月まで急激に増加した.しかし, その後減少し、11月には6月とほぼ同じ値まで減少 した(第4図).一方、葉身中全窒素含有率の経時的 変化は、いずれの施肥量においても、6月では低い値 を示すものの、時期の経過とともに増加し、8~10 月でほぼ最高値を示した(第5図).その後、11月に はやや減少した.

施肥量が葉柄汁液中の硝酸イオン濃度に及ぼす影





(Fig. 4. Seasonal changes in nitrate nitrogen concentration in petiole juice of Satsuma Mandarin in an

orchard employing different fertilizer application rates.)

- Z) \*\*は1%, \*は5%の危険率で有意差あり, ns は有意差無し
- y) 同一調査日における異符号間には、Tukeyの多重検定法(5%)で有意差があることを示す





(Fig. 5. Seasonal changes in total nitrogen content of leaves of Satsuma Mandarin in an orchard

employing different fertilizer application rates.)

- Z) \*\*は1%, \*は5%の危険率で有意差あり, ns は有意差無し
- y) 同一調査日における異符号間には、Tukeyの多重検定法(5%)で有意差があることを示す
- x) 矢印 (↓) は施肥日を示す





響は, 試験1と同様に, 窒素 施肥量が多いほど硝酸イオ ン濃度が高くなる傾向がみ られ,7~9月で有意差がみら れた.

葉柄汁液中の硝酸イオン 濃度と葉身中窒素含有率と の関係は第6図に示すとおり である.その関係は採取した 時期により異なり,6月から 9月では葉柄汁液中の硝酸イ オン濃度が高いほど葉中窒 素含有率が高くなる傾向が みられたものの,10月と11 月では葉柄汁液中の硝酸イ オン濃度が低くても葉中窒 素含有率が高かった(第6図).

## (3) 小型反射式光度計によ る硝酸イオン濃度の測定

葉柄汁液中硝酸イオン濃 度の小型反射式光度計とイ オンクロマトグラフそれぞ れの分析値の関係は第7図に 示すとおりである.両者の測 定値の間には高い相関 (y = 0.908x+198.8, R<sup>2</sup> = 0.924\*\*) がみられた (第7図).



### 第7図 小型反射式光度計とイオンクロマトグラフによる葉柄汁液中の 硝酸イオン濃度測定値の関係

<sup>(</sup>Fig. 7. Relationship between analysis data of nitrate nitrogen concentration in petiole juice and method of analysis using the reflectometer and the ion chromatograph.)

#### 4.考察

# 窒素施肥量が葉柄汁液中硝酸イオン濃度に及ぼす影響

葉柄と葉身汁液中の硝酸イオン濃度は、いずれも 施肥量が多いほど高くなる傾向で、施肥による樹体 の栄養状態を反映していた(第5表).また、その傾向 は全窒素含有率と同じであったことから、傾向も正 しいと考えられた.また、硝酸イオン濃度は葉身よ り葉柄汁液のほうが高く、施肥による樹体の反応を より鋭敏に示していると考えられた.

葉柄汁液中硝酸イオン濃度の経時的変化は, 葉身 中全窒素含有率の推移に比べると非常に変化が大き かった(第4図,第5図).他の果樹であるイチジク

(瀧, 2000)の葉柄汁液中硝酸イオン濃度の経時的 変化(4~8月)も大きく,施肥量が少ない区で,濃 度が不規則に変化する推移を示した.これは調査期 間中の施肥回数が,イチジクでは4回なのに対し, ウンシュウミカンは6月の1回だけであることが関 係していると考えられた.

施肥量が葉柄汁液中の硝酸イオン濃度に及ぼす影響は,窒素施肥量が多いほど硝酸イオン濃度が高く なる傾向がみられ(第4図),7~9月で有意差がみら れた.一方,その他の時期では差がみられなかった. これらことから,ウンシュウミカンにおいても他の 作物と同様に施肥量の多少が葉柄汁液中の硝酸イオ ン濃度に反映し,測定時期を限定すれば葉柄汁液中 の硝酸イオン濃度で施肥量の多少が判断できる可能 性が示唆された.また,硝酸イオン濃度は葉身中の 全窒素含有率に比べると変動が大きいため,現在の 樹の栄養状態をより表していると考えられ,単に施 肥量の多少だけでなく,現在の土壌中の硝酸イオン 濃度,肥料の吸収・転流状態なども推測できるので はないかと考えられた.これについては更に追及す べきであると考えられた.

#### 葉柄汁液中硝酸イオン濃度の適正域

今回, 葉柄汁液中の硝酸イオン濃度が施肥量の違 いを反映し, 従来の診断基準である葉中窒素含有率 とも相関が高かったことから, 硝酸イオン濃度を指 標に栄養診断することが可能と考えられた. 分析結 果から, 7~9月の全窒素含有率と硝酸イオン濃度と の関係式は7月:y = 5.36Ln(x) - 10.0 (Ln : Log e),  $R^2 =$ 0.739\*\*, 8月:y = 2.34Ln(x) + 12.5,  $R^2 = 0.539^{**}$ , 9 月:y = 2.29Ln(x) + 14.2,  $R^2 = 0.636^{**}$ であった. そ こで, この関係式からウンシュウミカンの葉身中窒 素含有率の適正域(静岡県農林水産部研究調整室編, 2002) (28~32 mg·kg·1) に対応する葉柄汁液中の硝 酸イオン濃度を算出し,暫定的に適正域を推測した. その値は測定月により異なり、7月で 1100~1900 mg·L<sup>1</sup>, 8月では1000~2400 mg·L<sup>1</sup>, 9月では600 ~1800 mg·L<sup>1</sup>と考えられた. この値より夏季におけ る樹体の栄養状態を把握するとともに、年間窒素施 肥量の過不足を判断し、値が低い場合は、11 月の秋 肥から年間施肥量を増加させ、更に葉面散布等によ り早期の樹勢回復を図る.また,値が基準を大幅に 超過している場合は、土壌中の窒素が過剰である恐 れがあるため、年間施肥量を少なくするとともに、 鶏ふん等窒素成分の多い有機物の投入を中止するな どの対応が可能と考えられた.ただし、この値は1 年の結果から推定された値であることから、今後は 生産現場のサンプルを用い,年度変化,樹齢・土壌 条件の影響等を更に検討し、もっと正確な基準値を 示す必要があると考えられた.

#### 小型反射式光度計による測定

小型反射式光度計(RQ フレックス, MERCK)は, 試験紙をその試料に浸し,その色を測定することで, 分析値を得る.近年,普及センターや農協などに多 く導入され,栄養診断や土壌診断に活用されている. 葉柄と葉身汁液では,その葉緑素含量の違いから, 汁液の色の濃さが異なり,葉柄汁液のほうが色は薄 かった.試験紙を両液に浸すと,葉身汁液では葉緑 素が試験紙に多く付着し,発色を妨害するため,同 じ試料を測定しても測定誤差が多く生じた.一方, 葉柄汁液では汁液の色が薄いため,発色はほぼ一定 となり,測定誤差も小さかった.このことから,葉 柄汁液のほうが小型反射式光度計の測定試料として は適し,正確な分析値が得られると考えられた.

小型反射式光度計とイオンクロマトグラフで同じ 試料を測定した結果,両者の測定値の間には高い相 関がみられた(第7図).このことから,この機器は 他の作物と同様,カンキツにおいても生産現場での 利用が可能と考えられた.ただし,葉柄の磨砕作業 に長時間を要する(1試料当たり約15分)ことから, 今後は更に迅速な汁液採取方法を検討する必要があ ると考えられた.

## 第3章 窒素施肥量と土壌改良資材の違いがカンキツ '不知火'の樹体生育 果実品質・樹体栄養状態および根量に及ぼす影響

#### 1. 緒 言

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構果 樹研究所(旧農林水産省果樹試験場)で育成された, カンキツの'不知火'('清見'ב中野3号'ポン カン)は糖度が高く,肉質佳良で,香りが良く,食 ベやすいことから,産地・市場・消費者の人気が高 い.このため,1990年頃から,熊本県をはじめに全 国のカンキツ産地に急速に広がり,1997年からは品 質の特に良いもの(糖度13度以上,酸1.0%以下) については,商標登録名「デコポン」として,市場 に流通しており(河瀬,1999a),その生産面積と収 穫量は年々増加傾向にある.

しかし、この品種は樹勢が弱いため、樹冠拡大が 遅く、新梢が枯死したり、収量が不安定になったり するなど、栽培が難しい.また、特に樹勢が弱い樹 では果汁の酸度が高くなりすぎるなどの問題点も確 認されており、樹勢強化のための様々な対策が行わ れてきた(平山ら、1996;加美ら、1998;河瀬、1999b).

一方,樹勢の弱い園では,細根の少ないことが観察されており,その原因として,着果過多と根圏土 壤環境の悪化(過湿と乾燥,多肥による土壌溶液濃度の上昇,未熟堆肥施用による硫化水素,メタンガス,一酸化炭素の発生,土壌物理性の悪化(気相率の減少))などが論じられてきた(河瀬,1999b;北 園ら,2000;高原,1999).

また, '不知火'の適正な窒素施肥量は明らかになっていないため, 生産現場では'清見'や'川野な つだいだい'などに準じた施肥を行っている. '不知 火'は結実すると樹勢が低下しやすく, 収量も少な くなりやすいため, 樹勢の維持が重要な課題となっ ており, 生産現場では樹勢維持のため, 多肥の傾向 がみられるが, このことが細根を減少させ, 一層の 樹勢の低下や果実の酸高を引き起こしていることも 指摘されている(岡島, 1999).

"不知火"は比較的新しい品種であることから, 施肥量試験の報告は少なく,土壌改良資材と窒素施 肥量とを組み合わせた試験例はない.そこで,筆者 らは"不知火"に対し,窒素施肥量と土壌改良資材 が樹体生育,果実品質,樹体栄養,土壌物理性およ び細根量に及ぼす影響を調査した.その結果,"不知 火"の適正な窒素施肥量の範囲と細根量を増加およ び減少させる土壌改良資材と窒素施肥量の組合せの 知見が得られたので報告する.

#### 2. 材料および方法

## 試験1 窒素施肥量が樹体生育・収量・果実品質およ び栄養状態に及ぼす影響

#### (1) ほ場の造成と定植

供試ほ場は,1998年に静岡県農林技術研究所果樹 研究センター(旧静岡県柑橘試験場)内の既存園 6 a (礫質灰色台地土)を伐採後,礫質黄色土(土性 CL, pH:6.04, EC:1.19 mS·m<sup>-1</sup>,腐植含有率:0.844%) を 40 cm 盛り土した.

供試樹は、2年生の苗木を1年6か月間、屋根かけ ハウス内の60L容ポットで育成し、その中で生育の 揃ったものを1998年11月に2.5m×2.5mの栽植距 離(1600本・ha<sup>-1</sup>)で定植した.

#### (2) 処理方法

試験は1999年(4年生樹)に窒素施肥量の異なる 4処理区(半量区,基準量区,2倍量区,3倍量区) を設定し,6反復で実施した.各区の境界にはプラス チック製波板を深さ35 cmまで埋設した.窒素肥料 は硫酸アンモニウムを用い,第6表に示すとおり, 樹の生育に伴い増施し, '清見'の施肥基準を参考に 年間施肥量の20%ずつを3月上旬,6月下旬,7月 中旬,8月下旬,10月上旬にそれぞれ樹冠下へ均一 に施用した.2002年度,7年生樹における窒素施用 量は基準量区で224 kgN・ha<sup>-1</sup>である.リン酸は苦 土重焼リンで窒素基準量の半量を,カリウムは硫酸 カリウムで窒素基準量と同量を窒素と同時に施用した.

### (3) 栽培管理

植付け後1年目の1999年は、全ての供試樹につい て6月に全摘果した。2年目以降は慣行管理とし、摘 果は7月上旬に粗摘果を行い、8月上旬に葉果比150 を目標に仕上げ摘果を行った。地表面管理は樹冠下 に1樹当たり2kgの稲わら(N:12g)を毎年11月 に敷き、その他は清耕管理とした。また、夏季の降 雨が少ない時期には、1本当たり60L程度のかん水 (10mmの降雨相当量)を1週間に2~3回行った。

肥料 y	試験区	199	9年	200	0年	200	)1 年	200	2 年
		g/樹	kg•ha <sup>-1</sup>	g/樹	kg•ha <sup>-1</sup>	g/樹	kg•ha <sup>-1</sup>	g/樹	kg•ha <sup>−1</sup>
	半量区	30	48	45	72	65	104	70	112
N	基準量区	60	96	90	144	130	208	140	224
IN	2 倍量区	120	192	180	288	260	416	280	448
	3倍量区	180	288	270	432	390	624	420	672
$P_2O_5$	-	30	48	45	72	65	104	70	112
$K_2O$	-	60	96	90	144	130	208	140	224

第6表 試験区の年間施肥量 <sup>z</sup> (Table 6. Fertilizer application rate per year in experimental plot.)

<sup>z</sup> 植栽密度は 1600 本・ha<sup>-1</sup>

<sup>y</sup> N は硫酸アンモニウム, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> は苦土重焼リン,

#### (4) 調査方法

 樹体生育量 幹周は接木部より10 cm上部に印 を付け,試験開始年の1999年4月と2003年3月に 調査した.また,樹冠容積は3月上旬のせん定前に東 西南北の樹幅と樹高を計測後,樹幅(東西)×樹幅(南 北)×樹高×0.7 で算出した.葉色は葉緑素計

(SPAD502, ミノルタ)で,2000年6月と11月,2001年11月に春葉と旧葉を調査した.

2) 収量および果実品質 収穫は,毎年2月中旬に 一斉に実施し,その日に計量した.果実品質は1樹に つき6個について,果重,果皮歩合,果実比重を測定 した.また6果分の果汁を絞り,糖度と酸を測定した. 糖度は屈折計で,酸は0.156 mol·L<sup>-1</sup>の水酸化ナトリ ウムで中和し,クエン酸含量として求めた.収穫時の 果皮色は測色色差計(TC-1500-MC,東京電色)で測 定した.また,生育途中の着色歩合は,2000年と2001 年の11月に達観により調査した(0:未着色~10:完 全着色).

3) 葉中無機成分 12月上旬に樹冠外周部・目通り の高さにある不着果新梢の中位葉(春葉)を東西南北 均等に葉身のみ 30 枚採取し,分析用試料とした.採 取した葉は洗浄後 80℃で通風乾燥し,振動ミルで微粉 砕した.全窒素は NC アナライザー(NC-800,住化 分析センター)で,その他の無機成分は乾式灰化後, 0.2 mol·L<sup>1</sup>の塩酸で溶解し,ICP 発光分光分析装置 (SPS3000, SII)で定量した.

4) 葉柄汁液中硝酸イオン濃度 2001 年 9 月 20 日 に、樹冠外周部・目通りの高さにある不着果新梢の中 位葉(春葉)を10枚採取し、その葉柄を0.5~1 mm 程度に薄く切断した.乳鉢で10倍量の蒸留水ととも に摩砕,さらに10倍量の蒸留水を加え、その上澄み K<sub>2</sub>O は硫酸カリウムで施用

液中の硝酸イオン濃度を小型反射式光度計(RQ フレ ックス, MERCK)で測定した.測定値を 21 倍し, 葉柄汁液中硝酸イオン濃度とした.残りの葉身は乾 燥・粉砕後, NC アナライザーで全窒素含有率を測定 した.対照として施肥量が同じ'はるみ'についても 同様に測定した.

## 試験2 窒素施肥量と土壌改良資材の施用が樹体生 育,果実品質,樹体栄養状態および根量に及ぼす影 響

#### (1) 試験樹の植栽

供試樹は 1999 年 4 月に静岡県農林技術研究所果 樹研究センター(旧静岡県柑橘試験場)内の無底 6 角形コンクリート枠(面積:6 m<sup>2</sup>,土壌タイプ:礫 質灰色台地土,土性:埴壌土(CL),土壌 pH:5.0 ~5.4)に 60 L ポットで育成した 5 年生 '不知火'(カ ラタチ台)を植栽し,2003 年 3 月まで調査した.

#### (2) 試験区の設定と栽培管理

供試した要因と水準は、A:土壌改良資材(バーク 堆肥,ピートモス,パーライト,無施用),B:窒素 施肥量(半量,基準量,2倍量,3倍量),C:ゼオラ イト施用量(無施用,少,中,多)である(第7表). 本試験では、樹勢強化と根量増加について3つの要 因(土壌物理性,窒素施肥量,塩基置換容量)4水準 の処理区が必要であったこと,また、供試樹の数が 限られていたこと等の理由から、効率よく試験を進 めるため、要因と水準をラテン方格法に割り付けて 実施した(第8図). 年間窒素施肥量

は、基準量区で1 枠当たり 1999 年:90g(150 kgN・ha<sup>-1</sup>),2000 年:120g(200 kg・ha<sup>-1</sup>),2001 年:136g(227 kg・ha<sup>-1</sup>),2002 年:152g(253 kg・ha<sup>-1</sup>)と供試樹 の生育に従って増 施肥し、3月、6月、

第7表 供試要因と水準の内容 (Table 7. Experimental design of the Latin Square: factor A, soil amendment; factor B, N rate; factor C, zeolite rate.)

要 因	第1水準	第2水準	第3水準	第4水準
A: 土壤改良資 材 <sup>z</sup>	A <sub>1</sub> :バーク堆肥 (50 t /ha)	A <sub>2</sub> :ピートモス (8 t /h a)	A <sub>3</sub> : パーライト (6 t/ha)	A4: 無施用
B:窒素施肥量	B1:半量	B2:基準量	B3:2倍量	B4:3倍量
C:ゼオライト 施用量	C1: 無施用	C <sub>2</sub> :少 (5 t/ha)	C <sub>3</sub> :中 (20 t /ha)	C4:多 (50 t/ha)

Z植付け時(1999年4月)施用量,2000~2003年の2月に植付け時の半量を施用

7月,8月,10月に硫酸アンモニウムで 年間窒素施肥量の20%ずつを施用した. また、リン酸は窒素施肥量(基準量区) の50%を重焼リンで、カリウムは窒素 施肥量(基準量区)と同量を硫酸カリウ ムで、全処理区とも同一量を施用した. 摘果は7月上旬に葉果比150を目途に 行い、その他の栽培管理は慣行に従った.

#### (3) 調査方法

 土壌調査 土壌物理性の調査は作 土層(土壌表面より深さ 30 cm までの 範囲)について実施し,植付け年(1999 年)と4年後(2002年)の12月に実 容積法により,pF 1.5 における三相分 布を調査した.

土壌化学性の調査は, 2000~2002 年の12月に作土層の土壌を採取し, pH は水抽出によりガラス電極法で, EC は 1:5 水抽出法により電気伝導率計

(EC-Meter CM-14P,東亜電波工業)
 で測定した.塩基置換容量(以下 CEC とする)は2000年のみ、ショーレンベルガー法で分析した.

 樹体生育量 樹体生育の調査は
 1999年4月~2003年3月の生育量(幹周,樹幅,樹高,樹冠容積) について, 第3章試験1と同様に行った.

3) 葉中無機成分 葉中無機成分含有
 率は2000~2002年の12月に春葉を第
 3章試験1と同様の方法で採取し、分析した。

1	2	3	4
$A_4B_1C_1$	$A_1B_2C_1$	$A_2B_3C_1$	$A_3B_4C_1$
5	6	7	8
$A_1B_1C_2$	$A_4B_2C_2$	$A_3B_3C_2$	$A_2B_4C_2$
9	10	11	12
$A_2B_1C_3$	$A_3B_2C_3$	$A_1B_3C_3$	$A_4B_4C_3$
13	14	15	16
$A_3B_1C_4$	$A_2B_2C_4$	$A_4B_3C_4$	A1B4C4

#### 第8図 ラテン方格法による試験区の割付内容

(Fig. 8. Experimental design of the Latin Square .)



第9図 根量調査の堀上位置 (Fig. 9. Vertical and horizontal positions utilized for digging in the investigation of root quantity.)

4) 収量および果実品質 果実は 2001~2003 年の
 2 月中旬に採取し,果実収量,果実品質(果皮率,糖度,酸度,果皮色)を3章試験1と同様の方法で調査した.

5) **根量および根活性調査** 根量調査は植付け4年 後の 2002 年 8 月下旬に行い, 掘取り法(主幹から 30 ~120 cm, 角度 60°の扇型, 深さ30 cm, 3 か所/ 樹(第9図))により, 水で洗浄後, 山内(1996)の 分類に従い, 細根(直径2 mm以下)と中小根(直 径2 ~20 mm)に分け, 105℃で3日間以上乾燥後, 乾物重を計測した.また, 掘り取った細根から新鮮 重で10 gを採取し,  $O_2$ アップテスター( $O_2$ アップ テスター10B, タイテック)により細根の呼吸量を測 定するとともに実体顕微鏡(15 倍)で細根の状態を 観察した.

## 3. 結 果(1) 窒素施肥量が樹体生育に及ぼす影響

樹体生育は第8表に示すとおりである.いずれの 試験区も4年間で樹高,樹幅,樹冠容積,幹周とも に増加した.しかし,半量区では最も生育が不良で, 表には示さなかったが枝葉の発生も少なかった.ま た,基準量区と2倍量区では生育が良好だった.一 方3倍量区では樹間容積および幹周の増加量がそれ ら両区よりも幾分劣った.春葉および旧葉の葉色は 2000年および2001年の両年ともに半量区で薄く, SPAD値はかなり低く,他の3区より有意に低い場 合もあった.基準量区,2倍量区および3倍量区では 大差はなかった(第9表).

# (2) 窒素施肥量が収量および果実品質に及ぼす影響

収量および果実品質は第10,11表に示すとおりで ある.本試験では,2001年と2003年が表年,2002 年が裏年の傾向であった.

収量は2倍量区で3年とも最も多かった.一方, 半量区と3倍量区では2倍量区および基準量区に比

	第8表	'不知火'	の樹体生育量に及ぼす窒素施肥量の影響
(Table 8.	Effect of nitrog	gen fertiliz	zer application rate on tree growth of citrus 'Shiranuhi'.)

	19	999年4	4月30	F	20	03年3	月 13	1		増加量(	4 年間)	
試験区	樹高	樹幅	樹冠 容積	幹周	樹高	樹幅	樹冠 容積	幹周	樹高	樹幅	樹冠 容積	幹周
	$^{\rm cm}$	$^{\mathrm{cm}}$	$m^3$	cm	cm	$^{\mathrm{cm}}$	$m^3$	cm	cm	$^{\mathrm{cm}}$	${ m m}^3$	cm
半量区	115	78	0.51	8.2	182	165	3.61	18.4	67.2	87.0	3.1	10.3
基準量区	124	102	0.92	9.5	189	194	5.01	21.6	65.0	92.1	4.1	12.1
2倍量区	128	96	0.97	9.1	200	192	5.33	21.5	72.5	95.8	4.4	12.4
3倍量区	110	84	0.55	8.2	181	189	4.55	20.1	70.8	105.0	4.0	11.9

第9表 '不知火'の葉色に及ぼす窒素施肥量の影響

(Table 9. Effect of nitrogen fertilizer application rate on leaf color of citrus 'Shiranuhi'.)

			葉色(SPAD 値	<b>主</b> )				
試験区	2000 年	6月	2000年	11 月	2001 年	2001 年 11 月		
	春葉	旧葉	春葉	旧葉	春葉	旧葉		
半量区	57.9 a <sup>y</sup>	49.9 a	69.8 a	59.7 a	72.1 a	51.6 a		
基準量区	66.9 b	64.8 b	74.5 b	67.6 ab	79.1 b	67.9 b		
2 倍量区	70.5 b	68.5 b	76.5 b	71.9 b	82.5 bc	70.9 b		
3倍量区	68.3 b	71.7 b	75.7 b	73.9 b	83.5 c	64.9 b		
有意性"	**	**	**	*	**	**		

<sup>2</sup> 分散分析により、\*\*は1%、\*は5%の危険率で有意差あり

<sup>y</sup> Tukey の多重検定により、同符号間には 5%水準で有意差のないことを示す

#### 第10表 '不知火'の1 樹当たり収量に及ぼす窒素施肥量の影響 (Table10. Effect of nitrogen fertilizer application rate on fruit yield per tree of citrus 'Shiranuhi')

試験区	2001 年	2002 年	2003 年	3年の合計
	kg	kg	kg	kg
半量区	2.36	$3.16 a^{y}$	6.25 a	11.77 a
基準量区	3.72	6.81 ab	9.02 ab	19.55 ab
2倍量区	4.46	8.37 b	11.47 b	24.30 b
3倍量区	2.29	2.88 a	7.65 ab	12.82 a
有意性 💈	n.s.	*	*	**

<sup>2</sup> 分散分析により,\*\*は1%,\*は5%の危険率で有意差あり,n.s.は有意差なし

<sup>y</sup> Tukey の多重検定により、同符号間には 5%水準で有意差のないことを示す

第11表	'不知火'	の果実品質に及ぼす窒素施肥量の影響
(Table	11. Effect	of nitrogen fertilizer application rate on
	fruit qual	ity of citrus 'Shiranuhi'.)

					-	-				
	試験区	2001	2002	2003	-		試験区	2001	2002	2003
	半量区	234	253	212	-		半量区	16.1 a	16.6	16.4 a
1 田香	基準量区	224	279	196		和平 時日	基準量区	17.1 a	16.4	17.8 b
1 未里 (m)	2倍量区	219	283	194		相反 (Brix)	2倍量区	16.0 a	16.8	17.8 b
(g)	3倍量区	218	245	187	_		3倍量区	17.7 a	16.9	18.4 b
	有意性 <sup>z</sup>	n.s.	n.s.	n.s.			有意性	*	n.s.	**
	半量区	22.3 a	a <sup>y</sup> 24.6	24.0	_	カナン	半量区	1.35	$1.22  \mathrm{b}$	0.96
	基準量区	25.4 a	ab 24.5	26.0	クエィ	クエン	基準量区	1.28	1.06 al	o 0.94
果皮率	2 倍量区	26.7	b 27.4	27.9		取百	2 倍量区	1.23	0.99 a	0.90
(%)	3倍量区	25.4 a	ab 26.9	28.3		里 (%)	3倍量区	1.37	1.05 al	o 0.96
	有意性	*	n.s.	n.s.	n.s.		有意性	n.s.	*	n.s.
	半量区	0.94	b 0.91	0.95 b	-		半量区	12.0	13.7 a	17.1 a
电宝	基準量区	0.92	ab 0.91	0.94 b		如东西分	基準量区	13.4	15.4 ab	o 19.0 ab
木天 比重	2 倍量区	0.90	a 0.89	0.91 a		17日 日久	2倍量区	13.2	$17.2  \mathrm{b}$	19.9 b
比里 -	3倍量区	0.92	ab 0.89	0.91 a	_	14	3倍量区	13.0	16.1 b	19.3 ab
	有意性	*	n.s.	**			有意性	n.s.	**	**

<sup>2</sup> 分散分析により, \*\*は 1%, \*は 5%の危険率で有意差あり, n.s.は有意差なし

<sup>y</sup> Tukey の多重検定により、同符号間には 5%水準で有意差のないことを示す

べて大幅に少なかった.3年間の収量の合計も半量区 と3倍量区で少なく、特に2倍量区に比べて有意に 少なかった(第10表).

1 果重は処理間の差が小さかった. 果皮率は 2001 年には半量区で低く,2倍量区で高かった.また,果 実比重は2001年に2倍量区で,2003年には2倍量 区,3倍量区で小さくなった.果汁の糖度(Brix)は, 3年間とも3倍量区で高い傾向にあった.また,2003 年の半量区では他の区に比べて有意に低くなった. クエン酸含量は,2002年には半量区で高く,2倍量 区で低くなる傾向にあったが,2001年と2003年に は処理区間で差がみられなかった. 糖酸比は, 2002 年には2倍量区と3倍量区で, 2003年には2倍量区 で高くなる傾向があり,半量区では3年とも低い傾 向が認められた(第11表).

11 月の果皮の着色歩合は, 2000 年には処理区間に 差がなかったが, 2001 年には半量区で低く, 2 倍量 区で高くなった. 収穫時に測色色差計で示した果皮 色についてみると, 2001 年には 3 倍量区で b\*値が, 2002 年には 2 倍量区で L\*値が低くなったが, 施肥量 との関係は明確でなかった (第 12 表).

	着色歩台	含 <i>ℤ</i> (11月)	収穫時果皮色(2001年) <sup>y</sup>			収穫時	収穫時果皮色(2002年)				
試験区	2000 年	2001 年	$L^*$	a*	b*	a*/b* × 100	$L^*$	a*	b*	a*/b* × 100	
	0-10	0-10									
半量区	4.4	$3.1 a^{v}$	64.4	30.5	64.4 ab	47.4	59.8 b	31.5	59.4	53.0	
基準量区	3.9	4.2 ab	64.2	30.0	64.2 ab	46.8	59.2 ab	30.9	58.8	52.5	
2 倍量区	4.3	5.0 b	64.2	29.2	64.9 b	45.0	58.0 a	30.7	57.6	53.4	
3倍量区	4.2	3.6 ab	63.6	29.8	62.7 a	47.7	58.9 ab	30.4	59.2	51.4	
有意性 <sup>x</sup>	n.s.	*	n.s.	n.s.	*	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	

第12表 '不知火'の果皮色に及ぼす窒素施肥量の影響 (Table 12. Influence of nitrogen fertilizer application rate on peel color of citrus 'Shiranuhi'.)

<sup>2</sup> 着色歩合(0:未着色~10:完全着色)は2000年11月7日と2001年11月12日に達観による調査を行った

<sup>y</sup> 果実収穫日:2001年2月13日,2002年2月21日

× 分散分析により、\*は5%の危険率で有意差あり、n.s.は有意差なし

\* Tukey の多重検定により、同符号間には 5%水準で有意差のないことを示す

第13表 "不知火"の葉中窒素含有率に及ぼす窒素施肥量の影響 (Table 13. Effect of nitrogen fertilizer application rate on total nitrogen content of leaves of citrus (Shiranuhi'.)

試験区	1999年	2000年	2001 年	2002 年
	mg g $^{1}\mathrm{DW}$	$\mathrm{mg} \cdot \mathrm{g}^{-1}  \mathrm{DW}$	$\mathrm{mg}$ · $\mathrm{g}^{-1}$ DW	mg g $^{1}$ DW
半量区	$22.9  a^{y}$	25.6 a	27.4 a	23.3 а
基準量区	27.1 b	29.2 b	29.4 b	28.0 b
2 倍量区	28.8 bc	31.1 c	31.0 b	30.2 c
3倍量区	30.8 c	32.5 c	33.5 c	30.8 c
有意性 <sup>z</sup>	**	**	**	**

<sup>2</sup> 分散分析により、\*\*は1%の危険率で有意差あり

<sup>y</sup> Tukey の多重検定により、同符号間には 5%水準で有意差のないことを示す

## (3) 窒素施肥量が葉中無機成分含有率に及ぼす影響

葉中無機成分に及ぼす影響は第13,14表に示すと おりである.窒素含有率は4年とも窒素施肥量が多 いほど,高くなった.しかし,1999年,2000年およ び2002年には2倍量区と3倍量区の間には有意な差 がみられなかった(第13表).

調査期間中の施肥量と葉中窒素含有率との関係に ついて、年次別に示したものが第10図である.同一 年では窒素施肥量が多いほど、葉中窒素含有率が高 くなる傾向が認められ、また、同一施肥量では年数 が経過するほど、葉中窒素含有率が少なくなる傾向 であった.

葉中のリン,カリウム,ホウ素は施肥量が多くな ると減少する傾向が認められた(第14表).一方, マグネシウムとマンガンは3倍量区で有意に高かっ た.カルシウムについては傾向が明らかでなかった.

			無機成分	含有率	(2000~20		
μ <sup>μ</sup> ι	<b></b>		Κ	Ca	Mg	В	Mn
		$\mathrm{m}\mathrm{g}^{\text{-}1}\mathrm{DW}$	mg•g⁻¹ DW	$mg^{\bullet}g^{\scriptscriptstyle 1}DW$	$mg^{\bullet}g^{\scriptscriptstyle 1}DW$	mg•kg 1 DW	mg•kg-1 DW
半	量区	1.90 c <sup>y</sup>	12.9 c	28.2 a	4.64 a	36 d	63 a
基準	量区	1.75 b	11.2 b	29.7 a	4.44 a	29 c	71 a
2 倍	量区	1.59 a	8.5 a	31.8 a	4.58 a	24 b	67 a
3 倍	量区	1.59 a	8.2 a	30.3 a	5.23 b	17 a	93 b
	施肥量	**	**	*	**	**	**
有意性 <sup>z</sup>	年	**	**	**	**	*	**
	交互作用	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

#### 第14表 <sup>(</sup>不知火'の葉中無機成分含有率に及ぼす窒素施肥量の影響 (Table 14. Influence of nitrogen fertilizer application rate on mineral content of leaves of citrus 'Shiranuhi'.)

" 分散分析により、\*\*は1%、\*は5%の危険率で有意差あり、n.s.は有意差なし

<sup>y</sup> Tukey の多重検定により、同符号間には 5%水準で有意差のないことを示す





(Fig. 10. Relationship between rate of nitrogen fertilizer application and nitrogen content of leaves.)

## (4) 窒素施肥量が葉柄汁液中硝酸イオン濃度に及 ぼす影響

葉柄汁液中の硝酸イオン濃度は第15表に示すとお りである. '不知火'の葉柄の形状は、ウンシュウミ カンおよび'はるみ'に比べ翼葉が広いものがみら れた. 硝酸イオン濃度は施肥量が多くなると高くな る傾向だった.しかし,基準量区より半量区の方が 硝酸イオン濃度は高かった.また,対照の'はるみ' に比べ,同じ施肥量でも硝酸イオン濃度は低かった. 一方,葉身中の全窒素含有率は施肥量が多いほど高 くなり,第13表に示した12月の葉と同様に窒素施 肥量の多少を反映していた.

#### 第15表 '不知火'と'はるみ'葉柄汁液中の硝酸イオン濃度と葉身中の 全窒素含有率に及ぼす窒素施肥量の影響<sup>9</sup>

(Table 15. Effect of nitrogen fertilizer application rate on nitrate nitrogen concentration in petiole juice and total nitrogen content of leaf blade of citrus 'Shiranuhi' and 'Harumi'.)

	'不知	7火'	'はるみ'			
試験区	葉柄汁液中の	葉身中の	葉柄汁液中の	葉身中の		
	硝酸イオン濃度	全窒素含有率	硝酸イオン濃度	全窒素含有率		
	$mg \cdot L^{-1}$	mg•g-1DW	mg∙L¹	$mg \cdot g^{-1} DW$		
半量区	795	29.3	711	29.2		
基準量区	662	30.5	1150	29.8		
2 倍量区	927	31.6	1769	34.2		
3倍量区	1286	34.0	2365	36.4		
有意性	*	**	*	**		

<sup>2</sup> 分散分析により, \*\*は 1%, \*は 5%の危険率で有意差あり

<sup>y</sup> 試料採取は, 2002 年 9 月 20 日

## (5) 土壌改良資材が土壌物理性および土壌化学性に 及ぼす影響

処理による土壌物理性への影響は第16表,土壌化 学性は第17表に示すとおりである.

土壌物理性は、植付け初年度および 4 年後におい

て、ともに土壌改良資材の種類についてみられ、い ずれの土壌改良資材も気相率を増加、固相率を減少 させた.バーク堆肥とピートモスで特に効果が高か った(第16表).

土壌 pH に及ぼす影響は,窒素施肥量で認められ, 標準区,2倍量区,3倍量区で,半量区より pH は有

第16表 異なる土壌改良資材と窒素施肥量が土壌物理性に及ぼす影響(三相分布: pF1.5) (Table 16. Effect of soil amendment and nitrogen fertilizer application on the physical properties of soil (three phase ratio: pF1.5))

THE IN		1	年目(199	9年)		4年目(2002年)			
安囚	水 凖 -	仮比重	固相 <sup>z</sup>	液相	気相	仮比重	固相	液相	気相
			%	%	%		%	%	%
	バーク堆肥	$1.05 ab^y$	39.6b	17.3	43.2a	1.14b	45.1b	21.5	33.4
▲・→「極步白次廿	ピートモス	1.00b	38.7b	17.1	44.3a	1.17b	45.5b	21.9	32.6
A·上坡以及頁例	パーライト	1.06ab	42.8ab	18.3	38.9a	1.23b	47.9b	19.3	32.8
	無施用	1.18a	45.8a	19.1	35.2a	1.37a	52.5a	22.0	25.5
	半量	1.12	43.2	18.4	38.5	1.24	47.5	21.8	30.7
D·波卡拉咖目	基準量	1.05	41.1	18.7	40.3	1.23	47.8	20.7	31.5
<b>D</b> ·至系.加加里	2倍量	1.03	40.0	16.0	44.1	1.24	48.4	21.1	30.5
	3倍量	1.09	42.7	18.7	38.7	1.21	47.3	21.0	31.6
	無施用	1.11	40.7	17.4	41.9	1.23	48.3	24.6	27.1
C:ゼオライト	少	1.04	43.0	20.3	36.8	1.23	48.0	20.3	31.7
施用量	中	1.11	40.2	16.6	43.2	1.22	46.9	18.7	34.4
	多	1.05	43.0	17.5	39.6	1.24	47.8	21.1	31.1
	土壤改良資材	**	**	n.s.	*	*	*	n.s.	n.s.
分散分析 <sup>x</sup>	窒素施肥量	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	ゼオライト量	n.s.	n.s.	n.s.	$\bigtriangleup$	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

z 固相, 液相, 気相は, arcsin 変換した値について統計処理を行った

<sup>y</sup> Tukey の多重検定により,同符号間には 5%水準で有意差のないことを示す

× F検定 :\*\*は1%, \*は5%, △は10%で有意差がり, n.s.は有意差なしを示す

意に低くなった. しかし, EC 値に各処理間の差は認められなかった(第17表).また,ゼオライトを施用することで CEC は高くなった.

(6) 土壌改良資材と窒素施肥量が樹体生長および 樹体栄養状態に及ぼす影響

樹体生育量に及ぼす影響は第18表, 葉中無機成分 含有率は第17表に示すとおりである. 樹体生育量への影響は土壌改良資材の種類につい てみられ,バーク堆肥,ピートモス,パーライトの いずれかを施用することで無施用区より樹高の増加 量が大きくなった(第18表).

葉中無機成分は,窒素施肥量の半量区で他の区よ り窒素含有率が低く,リン含有率が高くなった(第 17表).

第17表 異なる土壌改良資材と窒素施用量が土壌化学性および葉中無機成分含有率に及ぼす影響 (2000-2002年平均) (Table 17. Effect of soil amendment and nitrogen fertilizer application on the chemical properties of soil and mineral content of leaves. 2000-2002 avelage.)

更 因	水准		土壤化学性		葉	葉中無機成分含有率			
女 凶	水平	$_{\rm pH}$	EC	$CEC^{Z}$	窒素	リン	カリウム		
			mS/m	me/100g	$mg \cdot g^{-1}DW$	$mg \cdot g \cdot DW$	$mg \cdot g^{-1}DW$		
	バーク堆肥	5.03	19.9	22.4	29.2	1.73	12.8		
▲:+撞波自盗材	ピートモス	5.05	21.0	21.6	29.5	1.68	13.9		
A·上接以民員的	パーライト	5.07	21.0	19.7	30.2	1.79	13.7		
	無施用	4.96	20.8	20.4	31.2	1.72	12.7		
	半量	6.05a <sup>y</sup>	10.7	20.5	27.8a	2.08a	15.0		
D'空表旋 即县	標準量	4.99b	27.3	21.0	29.8b	1.66b	13.5		
D·主希旭加里	2倍量	4.72b	23.4	22.1	31.2b	1.60b	13.0		
	3倍量	4.34b	21.3	20.6	31.4b	1.57b	11.6		
	無施用	5.24	15.4	18.6a	30.2	1.66	12.8		
いゼオラノト 旋田县	少	4.85	19.7	17.7a	30.1	1.79	13.5		
し ビオノイト 旭川里	中	4.88	24.6	22.4ab	30.1	1.71	13.3		
	多	5.13	23.0	25.6b	29.7	1.74	13.6		
	土壤改良資材	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		
分散分析 <sup>x</sup>	窒素施肥量	**	n.s.	n.s.	**	*	n.s.		
	ゼオライト量	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.		

<sup>2</sup> CEC の分析は 2000 年のみ実施

<sup>y</sup> Tukey の多重検定により、同符号間には 5%水準で有意差のないことを示す

× F検定:\*\*は1%,\*は5%で有意差あり,n.s.は有意差のないことを示す

第18表	異なる土壌改良資材と窒素施用量が	'不知火'	の樹体生育量に及ぼす影響
(Table 18.	Effect of soil amendment and nitroge	n fertilize	er application on tree growth.)

		1999 <sup>左</sup>	F4月3	) 日 (植栽	裁時)	2003年	F3月 20	日(植栽	4年後)		増力	巾量	
要 因	水準	幹周	樹幅	樹高	樹冠容積	幹周	樹幅	樹高	樹冠 容積	幹周	樹幅	樹高	樹冠 容積
		cm	cm	cm	$m^3$	cm	cm	cm	${\rm m}^3$	cm	cm	cm	$m^3$
	バーク堆肥	11.5	125	160	1.75	23.9	208	210	6.36	12.4	82.5	50.0	4.61
A:土壤改	ピートモス	12.3	131	178	2.10	25.3	202	224	6.34	13.1	71.3	46.3	4.24
良資材	パーライト	11.7	119	171	1.71	24.4	210	218	6.79	12.7	90.6	46.3	5.08
	無施用	11.4	133	174	2.14	21.4	186	188	4.58	10.1	53.8	13.8	2.43
	半量	11.5	121	169	1.73	22.8	196	210	5.71	11.4	75.0	41.3	3.97
B:窒素施	基準量	12.2	134	169	2.14	25.1	211	208	6.61	12.9	76.9	38.8	4.47
肥量	2倍量	12.0	124	169	1.80	24.5	194	211	5.57	12.5	70.6	42.5	3.78
	3倍量	11.1	129	176	2.04	22.7	204	210	6.18	11.6	75.6	33.8	4.14
C:	無施用	11.3	120	173	1.74	24.0	205	214	6.41	12.6	85.0	41.3	4.67
ジャンシュレ	少	11.5	135	171	2.19	23.1	198	210	5.79	11.6	62.5	38.8	3.60
ビオノイト	中	12.1	131	176	2.08	24.9	200	218	6.15	12.8	68.8	41.3	4.07
旭用里	多	11.8	121	163	1.69	23.1	203	198	5.71	11.2	81.9	35.0	4.02
八地rz	土壤改良資材	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	$\triangle$	n.s.
刀取"	窒素施肥量	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
55101	ゼオライト量	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

z F 検定: △は10%の危険率で有意差あり、n.s.は有意差のないことを示す

## (7) 土壌改良資材と窒素施肥量が収量および果実品 質に及ぼす影響

果実収量および果実品質に及ぼす影響は第19表, 果皮色は第20表に示すとおりである.

果実収量に及ぼす影響は2003年の土壌改良資材に ついてみられ、バーク堆肥、ピートモス、パーライ トを施用することで、無施用区より収量が多くなった.

果実品質には窒素施肥量の影響が認められ,窒素 施肥量が2倍量区、3倍量区では、果皮率が半量区、 基準量区より高くなった.また,糖度は2001年と 2003年で基準量区は半量区より高くなった.酸度は

第19表 異なる土壤改良資材と窒素施用量が '不知火'の収量、果実品質に及ぼす影響 (Table 19. Effect of soil amendment and nitrogen fertilizer application on fruit yield and fruit quality.)

		н	宝应是在	a)					果実品質	資			
要因	水準	*	ACACIA M (Rg)			果皮率(%) 糖度(Brix <sup>o</sup> )			°)	酸度(%)			
		2001	2002	2003	2001	2002	2003	2001	2002	2003	2001	2002	2003
	バーク堆肥	6.5	13.5	16.6	27.0	24.2	25.8	14.5	15.3	17.4	1.35	1.05	1.23
A・+ 摘み 白 盗せ	ピートモス	8.2	9.3	14.2	26.7	22.2	24.5	15.0	15.9	17.4	1.33	1.03	1.15
A·上坡以尺頁的	パーライト	8.2	8.7	14.8	26.1	25.2	25.2	14.2	16.0	17.9	1.25	1.03	1.19
	無施用	5.2	7.8	8.3	24.3	24.0	25.7	14.8	17.1	18.0	1.34	1.26	1.24
	半量	5.0	8.9	12.0	22.7	19.0a	21.8a	14.0	16.0	16.3a	1.25ab	1.08	1.11
D·空志拉m昌-	基準量	6.4	10.8	13.3	23.5	23.5ab	24.9ab	14.2	15.6	17.9b	1.23b	1.01	1.20
D·並希旭加重	2倍量	6.8	10.6	15.7	28.2	26.6b	27.7b	15.2	16.1	18.4b	1.34ab	1.14	1.28
	3倍量	9.9	9.0	12.9	29.7	26.7b	26.9b	15.1	16.6	18.1b	1.45a	1.15	1.22
	無施用	9.0	6.6	12.6	27.6	24.0	25.5	14.8	15.6	17.9	1.39	1.08	1.16
C:ゼオライト	少	6.2	8.6	14.3	25.7	24.7	26.5	14.6	16.2	17.9	1.33	1.09	1.28
施用量	中	4.9	11.6	12.5	24.2	23.9	23.4	14.9	16.2	17.0	1.26	1.16	1.15
	多	8.1	12.5	14.5	26.5	23.1	25.8	14.2	16.4	17.9	1.27	1.06	1.22
	土壤改良資材	n.s.	n.s.	$\triangle$	n.s	n.s	n.s.	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s
分散分析"	窒素施肥量	n.s.	n.s.	n.s.	$\bigtriangleup$	*	**	$\bigtriangleup$	n.s	**	*	n.s	n.s
	ゼオライト量	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s	$\bigtriangleup$	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s

z Tukey の多重検定により、同符号間には5%水準で有意差のないことを示す

y F 検定 :\*\*は 1%, \*は 5%, △は 10%で有意差あり, n.s.は有意差のないことを示す

再日	水滩		L*値			a*値			b*値		8	ı*/b*×10	0
安凶	水中	2001	2002	2003	2001	2002	2003	2001	2002	2003	2001	2002	2003
	バーク堆肥	63.0	61.0	60.1	32.7	29.8	32.5	65.5	60.8	61.3	49.8	49.0	52.9
A:土壤改	ピートモス	63.1	61.5	60.2	30.6	30.0	32.1	64.5	62.2	61.2	47.4	48.3	52.5
良資材	パーライト	63.0	60.7	59.8	31.1	30.3	32.4	65.2	60.7	60.5	47.7	49.9	53.5
	無施用	63.5	60.4	59.8	31.5	30.5	32.2	64.5	62.3	60.8	48.9	49.0	52.9
	半量	63.4	62.9	61.2	31.9	30.9	34.5	64.7	65.1	62.9	49.3	47.5	54.8
B:窒素施	基準量	63.1	61.0	60.0	31.6	30.3	32.7	64.7	61.4	61.1	48.9	49.5	53.5
肥量	2倍量	63.2	60.2	59.4	32.7	29.2	30.6	66.3	59.5	59.7	49.2	49.1	51.3
	3倍量	63.0	59.5	59.4	29.7	30.1	31.4	64.1	60.0	60.1	46.4	50.1	52.2
0.445	無施用	63.4	60.6	59.5	30.7	30.6	32.6	64.5	62.3	60.0	47.6	49.2	54.3
21	少	63.2	60.7	59.9	31.3	29.9	31.9	64.4	60.2	60.4	48.5	49.7	52.8
イド 佐田昌	中	62.7	60.8	60.8	33.1	29.9	32.2	66.4	60.9	62.6	49.9	49.1	51.4
旭用里	多	63.3	61.4	59.8	30.8	30.2	32.4	64.4	62.5	60.8	47.8	48.2	53.3
	土壤改良資材	n.s	n.s	n.s.	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s
分散分析 <sup>z</sup>	窒素施肥量	n.s	*	**	n.s	*	**	n.s	$\triangle$	*	*	n.s	*
	ゼオライト量	n.s.	n.s	**	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	*	n.s	n.s	$\triangle$

第20表 異なる土壌改良資材と窒素施用量が '不知火'の収穫時の果皮色に及ぼす影響 (Table 20. Effect of soil amendment and nitrogen fertilizer application on peel color at time of harvest.)

z F検定 :\*\*は1%, \*は5%, △は10%で有意差あり, n.s.は有意差のないことを示す

2001年に3倍量区で高くなったが、その他の年では 差が小さかった(第19表).

響は土壌改良資材の種類と窒素施肥量についてみら れ,土壌改良資材を施用すると細根量が増加し,窒

果皮色は施肥 量により色調が 異なり, 窒素施 肥量が多いほど L\*值, a\*值, b\* 值, a\*/ b\*×100 が低くなった (第20表). (8) 土壤改良 資材と窒素施肥 量が根量および 根の活性に及ぼ す影響 植付け4年後 の細根量に及ぼ す影響とその根 活性は第 21 表

(Table 21. fin	Effect of soil ame e-root growth an	endment and d respiration	nitrogen fe .)	rtilizer app	lication on
	_la ùtta	根	量(乾物重	.)	根活性
安 囚	水 凖	細根	中小根	合計	呼吸量
		g	g	g	µmolO2/dw.g/h
	バーク堆肥	103.8	33.1	137.0	18.5
▲・ しわさった 白 次 わわ	ピートモス	95.7	34.7	130.4	16.2
A:工课仪艮貨材	パーライト	89.4	38.6	128.0	16.5
	無施用	51.3	17.8	69.1	15.2
	半量	92.4ab <sup>z</sup>	34.2	126.6	17.2
D:皮韦左回旦	基準量	122.9a	37.9	160.8	17.3
<b>D</b> ·至系.肥重	2倍量	71.2ab	23.5	94.8	16.4
	3倍量	$53.6 \mathrm{b}$	28.7	82.3	15.3
	無施用	81.0	22.9	103.9	17.0
C:ゼオライト	少	71.7	28.1	99.8	15.3
施用量	中	99.6	45.3	144.9	18.2

第21表 異なる土壌改良資材と窒素施用量が '不知火'の根量と根活性に及ぼす影響

に示すとおりで ある.

<sup>2</sup> Tukeyの多重検定により、5%の危険率で同一符号間に有意差のないことを示す <sup>y</sup> F 検定 :\*は5%, △は 10%で有意差あり, n.s.は有意差のないことを示す

多

土壤改良資材

窒素施肥量

ゼオライト量

分散分析,

99.6

87.9

 $\bigtriangleup$ 

\*

n.s.

45.3

27.9

n.s.

n.s.

n.s.

144.9

115.8

n.s.

n.s.

n.s.

18.2

15.8

n.s.

n.s

n.s.

細根量への影

(A)



第11図 異なる窒素施肥量が細根の形態に及ぼす影響 (Fig. 11. Effect of nitrogen fertilizer application rate on fine roots.)

(A)窒素半量区 (nitrogen fertilizer application rate : 1/2) (B)窒素 3 倍量区 (nitrogen fertilizer application rate: 3 times) 素施肥量が多いほど細根量は減少した(第21表).

細根を実体顕微鏡で観察したところ,施肥量が少 ない窒素半量区および基準量区では細根が白く,量 も多かった(第11図A).しかし,窒素施肥量の3 倍量区では細根の褐変と腐敗がみられ(第11図B), 細根の表皮および皮層が崩壊し,中心柱のみのもの が多いことが確認された.

根活性については、土壌改良資材を施用した区お よび窒素施肥量が少ない区で呼吸量が多く、根活性 が高い傾向だったが、統計的な有意差はみられなか った(第21表).

細根量に及ぼす影響について,寄与率を算出した 結果,窒素施肥量の寄与率が38.4%で最も高く,最 も強い影響を及ぼしていた(第22表).また,土壌 改良資材の寄与率も20.0%であった.

分散分析表から,細根を最も増加させる組合せは, バーク堆肥+窒素基準量施用で,133.6gの細根の乾 物重が期待され,最も細根を減少させる組合せは, 土壌改良資材無施用+窒素3倍量施用で19.9gが期 待された.

## 4. 考察

#### 窒素施肥量が樹体生育に及ぼす影響

窒素施肥量がカンキツの樹体生育に及ぼす影響に ついては、坂本・奥地(1968)が、ウンシュウミカ ンの幼木を用いた試験で、窒素施肥量の多いほうが 新梢の伸長量が多く、幹周の肥大と窒素施肥量とは 比例関係があったとしている.また、松瀬ら(1998) は'清見'および'伊予柑'について、高接ぎ後の 樹冠の拡大量は窒素栄養の低い区で劣っていたこと を報告している.本試験の半量区では幹周と樹容積 の拡大量が少なく(第8表)、坂本・奥地(1968)の 結果と同様な傾向であった.半量区では葉色も薄く (第9表),枝葉の発生量も少なかった(データ未掲 載)ことから,窒素が不足していたと考えられた. 一方,3倍量区では葉色は基準量区および2倍量区と 同程度であったが,樹冠容積と幹周の増加量が両区 より低かった.この原因については,植え付け時の 樹の大きさが影響していることも考えられるが,岡 島(1999)が報告しているように,過度の施肥が細 根量を減少させ,樹勢の低下を引き起こしたのかも しれない.

#### 窒素施肥量が収量に及ぼす影響

収量は2倍量区で最も多くなった(第10表).窒 素施肥量と収量との関係については、ある程度まで の窒素の増肥は枝葉の生育を盛んにし、収量を増加 させることが示されており(Smith, 1966)、小笠原 ら(1967)も同様の報告を行っている.本試験の2 倍量区で収量が最も多くなったという結果は、これ らの報告と一致しており、'不知火'の収量増加のた めの適正窒素施肥量は2倍量程度であるものと推察 された.

しかし、本試験の 3 倍量区では収量が減少した. 施肥量の増加に伴う収量の増加は、300 kgN・ha<sup>-1</sup>付 近に上限があることを 'ハッサク'で菅井ら (1983) が報告し、ウンシュウミカンでは263~338 kgN・ha<sup>-1</sup> (小笠原ら、1967)、あるいは350 および 490 kgN・ ha<sup>-1</sup> (高辻ら、1986) で収量が最高であったことが報 告されている.また、Dasberg (1987) は世界各地 で実施されたカンキツの長期窒素連用試験の結果か ら、収量を確保し、樹体生育を良好にする施肥量は 200 kgN・ha<sup>-1</sup>が良いとした.一方、岡島ら (1998) は '不知火' において、321 kgN・ha<sup>-1</sup>で樹体生育が

第22表 細根量の分散分析 (Table 22. Analysis of variance of fine-root quantity.)

THE THE	水準に付与される係数				平方和	白山座	分散	F 値(確率)		寄与率
安 凶	1	2	3	4	(SS)	- 日田及	(MS)	r ∥⊫	(伸出4半)	(%)
A:土壤改良資材	18.8 z	10.6	4.3	-33.7	6487	3	2162	3.32	(-0.093)	20.0
B:窒素施肥量	7.4aby	37.9a	<b>-</b> 13.8ab	-31.5b	10683	3	3561	5.48	* <sup>x</sup> (0.037)	38.4
C:ゼオライト量	-4.1	-13.4	14.6	2.9	1667	3	556	0.86		0.0
e:誤 差					3900	6	650			41.6
合 計					22737	15				100

<sup>z</sup> 総平均は85.1g

y Tukeyの多重比較により、同符号間には5%の危険率で有意差のないことを示す

x F検定により、\*は5%の危険率で有意差のあることを示す

悪くなり、収量が少なくなったことを報告した.本 試験では2倍量区であっても最終年は448 kgN・ha<sup>-1</sup> となり、岡島ら(1998)の報告より多く、高辻ら(1986) の報告に近い.このように、本試験の3倍量区で収 量が減少したのは、窒素施用量が収量増加に有効な 上限を超えていたためと考えられる.

一般的に土壌中に有機物の多いほ場では、微生物の 分解により窒素が土壌中に多く発現し、供給される ことが知られているが、今回の試験ほ場は造成をし て間もなく、土壌中には有機物や肥料成分をほとん ど含まなかったことから、本試験では岡島ら(1998) の報告より窒素施肥量が多い区で樹体生育が最もよ くなり、収量も多くなったものと考えられた.従っ て、地力窒素の発現量が多いほ場や黒ボク土では、 今回より少ない施肥量で収量が最も高くなることが 推定される.

#### 窒素施肥量が果実品質に及ぼす影響

窒素施肥量が果実品質に及ぼす影響は、ウンシュウ ミカンでは石原(1982)、坂本・奥地(1968)、富田 (1971)および山崎(1987)により、'不知火'では 岡島ら(1998)、'ハッサク'では菅井ら(1983)に より報告されている.これらの共通の傾向として、 窒素施肥量が多くなると果皮率が高くなり、果実比 重が小さくなることが認められており、本報告の結 果(第11表)と一致している.しかし、菅井ら(1983) の'ハッサク'の報告では、このような傾向がみら れたのは幼木のみであったことから、'不知火'でも 成木での確認が必要である.

果汁の糖度は、施肥量が少ないと増加する場合(岡 島ら、1998;坂本・奥地、1968;富田、1971)と施 肥量が多いと増加する場合(坂本・奥地、1969)が あり、一定の傾向は認められていない、本試験では 施肥量が多いと糖度が高くなる年があったものの、 差がみられない年もあった(第 11 表).これについ て、山崎(1987)は、施肥量は糖度の支配要因では ないとし、富田(1971)も糖度には土壌条件や樹体条 件など施肥量以外の要因が複雑に影響しているため としている.本試験においても糖度には施肥量以外 の要因の寄与が大きく、窒素施肥量の影響が明確で なかったものと思われる.

酸含量についても窒素施肥量が多いと高くなる場合(坂本・奥地, 1969)と低くなる場合(岡島ら, 1998)があり、本試験では2倍量区で低くなる年があったが、施肥量との関係は明らかにならなかった

(第11表). '不知火'は土壌条件の悪化により細根 が少なくなると酸高果実が生産される.また,気象 条件の影響も受けやすく,乾燥年より多雨年のほう が酸は少なくなることが知られている(松島,1999). 本試験ではかん水を行ったため,全体的に酸が低く なり,施肥量による差が小さくなったものと考えら れた.なお,糖酸比については,3年間とも半量区で 低く,窒素不足により低下したことが考えられ,さ らに検討したい.

果皮色については、ウンシュウミカンにおいて窒素 の施肥量が多いほど着色遅延することや(坂本・奥 地,1969;山崎,1987),収穫時の着色が悪く、黄色 の色調が強くなること(坂本・奥地,1969)が報告 されている.本試験では窒素施肥量が多くても、着 色遅延の傾向がみられなかった(第12表).ただし、 2001年には、半量区で11月の着色が劣ったが、こ の年のこれらの樹は着果量が少なく、その影響と考 えられた.また、収穫時の果皮色も施肥量との関係 はみられず、ウンシュウミカンでの報告とは異なっ ていた.この収穫時の着色に差がなかった理由とし て、'不知火'は収穫時期が2月であり、全ての果実 が完全着色であったためと考えられた.

#### 窒素施肥量が葉中無機成分含有率に及ぼす影響

葉中窒素については、本試験のように窒素施肥量が 多くなると含有率が高くなるという報告が多い(坂 本・奥地,1968; Smith,1966).また、過去に'不 知火'の葉中窒素含有率を調査した結果では、施肥 量214 kgN・ha<sup>-1</sup>で29.8 mg·g<sup>-1</sup>(岡島ら、1998)と 本試験の基準量区の値(27.1~29.4 mg·g<sup>-1</sup>)とほぼ 同じであった(第13表).しかし、2001年を除く、 1999年,2000年および2002年には2倍量区と3倍 量区の葉中窒素含有率には差がなかった.これは過 剰な施肥が細根を褐変・腐敗させ、窒素の吸収量を 抑制したと推察される.また、半量区の窒素含有率 は栄養診断適正値(28~33 mg·g<sup>-1</sup>)(静岡県農林水 産部研究調整室編,2002)を大幅に下回っていたこ とから、半量区では窒素施肥量が少ないと考えられ た.

窒素施肥量が多くなると、葉中のリン、カリウム、 ホウ素の値は低くなり、マンガンは増える傾向であ った(第14表).リン、カリウムについては岡田 (1983)と坂本・奥地(1969)が、マンガンは湯田 (1970)がウンシュウミカンで同様の傾向を確認し ている.石原(1982)はリンとカリウムが減少する 理由として、窒素の施用により樹体重が増加しても、 リン酸とカリウムの吸収量が伴わず、「成長に伴う希 釈作用」が起こるためとし、カルシウムとマグネシ ウムは結実量が多いと含有率が高いとしている.

## 窒素施肥量が葉柄汁液中硝酸イオン濃度に及ぼす影 響

葉柄汁液中の硝酸イオン濃度は窒素施肥量を反映 することから,多くの作物や果樹で測定され,栄養 診断の指標として活用されている(六本木, 1991; 六本木, 1992; 六本木, 1993; 山田ら, 1995; 建部 ら, 2001; 瀧, 2000). 本報の第2章においても, 葉柄汁液中の硝酸イオン濃度はウンシュウミカンの 窒素施肥量を反映していることを報告した. '不知 火'の葉柄汁液中の硝酸イオン濃度も,窒素施肥量 の増加に伴い高くなる傾向だった.しかし、本章に おいては半量区より基準量区のほうが低くなった. 一方、葉身中の全窒素含有率は基準量区のほうが高 かったことから, 葉全体の窒素含有率および硝酸イ オン濃度は基準量区のほうが高いことが考えられ、 今回の葉柄汁液中の硝酸イオン濃度は栄養状態を正 確に示していないといえよう. また, 分析された測 定値も第4図に示したウンシュウミカンの同時期の 値,同日の'はるみ'の値(第15表)に比べても低 い. それらの原因として、'不知火'葉柄の翼葉の大 きさが関係していると考えられる.本報の第2章で 葉柄中の硝酸イオン濃度は葉身中のものより 11~17 倍高かったことを報告した(第5表).このことから、 測定はしていないものの, 翼葉汁液中の硝酸イオン 濃度は、葉柄汁液より低いことが予想され、今回の 測定において翼葉が大きなものでは抽出液中の硝酸 イオン濃度が薄められた可能性が考えられた.この ことから、'不知火'において葉柄汁液中の硝酸イオ ン濃度で栄養診断を行う場合は、翼葉を切除するか、 翼葉の小さなものを採取する必要があると考えられ た.

#### 土壌改良資材の施用効果

バーク堆肥とピートモスは土壌の膨潤化,保水性 の向上,パーライトは透水性や保水性の向上の効果 があるとされている(尾和,1996;岩間,1996).そ こで窒素成分の含まれる有機物の土壌改良資材とし てバーク堆肥,窒素成分が極めて少ない有機物の土 壌改良資材としてピートモス,窒素成分のない無機 質の土壌改良資材としてパーライトを選んだ. 有機物などの施用によるカンキツ園の土壌物理性 改善効果は過去にも報告されている(岩切ら,1988; 峯・小田,1984). 今回の試験で使用した,バーク堆 肥,ピートモス,パーライトは,いずれも土壌の固 相率を低くし,4年後においても土壌物理性の改善効 果が認められた(第16表).

岩切ら(1988)は山中式硬度計で21以上,古河 (1972),小野ら(1986)は24~25以上で細根量が みられなくなったことを報告している.一方,峯・ 小田(1984)により,細根の分布が少ない層では粗 孔隙が10%以下,固相50%以上を示す土壌が多かっ たと報告されている.また,古河(1972)は主とし て毛管孔隙率と固相率が,ウンシュウミカン樹の根 の伸長に関与すると推定している.これらのことか ら本試験においても,土壌改良資材の施用が固相率 を低下させ,その結果'不知火'の細根量を増加さ せたものと考えられた.

#### 窒素施肥量と土壌改良資材が細根量に及ぼす影響

窒素の施肥量とウンシュウミカンの細根量との関係は、施肥量が多いほど根量が少なくなることが示されており(金子ら、1970;西田、1982;小笠原ら、1967)、岡島ら(1998)も'不知火'の施肥量が基準量の1.5 倍で細根が少なくなったことを報告している.本試験においても、施肥量が増加するほど減少した(第21表).また、掘り取った細根の状態は、施肥量の少ない区では白いものの、施肥量の多い区では褐色の細根が多くみられた(第11図).

ウンシュウミカン園では土壌pHが4以下になると 根の生育が劣ること(古河, 1972)が報告されてい るが、今回の試験では、すべての区でpH4以上であ ることから、別の原因が考えられた。

一般に塩類が集積した土壌では、作物の生育阻害 や生理障害が発生し、その原因として土壌溶液の高 浸透圧による作物の給水阻害(浸透圧ストレス)お よび特定のイオンの過剰害(イオンストレス)があ り、これらは、根の生育・機能阻害として現れるこ とが示されている(山崎、1998).一方、窒素の施肥 量を増加させると土壌中の硝酸イオン濃度を増加さ せ、EC値を高くすることも報告されている(大西ら、 1972).土壌溶液の浸透圧は、EC値に対応し高まる (土壌標準分析・測定法委員会、1986).本試験では 塩類集積や高いEC値は確認されなかったものの(第 17表)、多量の窒素施肥が一時的に土壌溶液中の硝酸 イオン濃度を高め、浸透圧ストレスにより細根量が 減少した可能性がある.本試験では、土壌の EC 値に 処理間の差がみられなかった理由として、土壌を採 取した時期が 12 月であり、10 月の施肥から 2 か月 経過しているため、土壌中の硝酸イオン量が低下し ていたのかもしれない.

土壌物理性と土壌化学性が細根量に及ぼす影響は, 第1 要因として土壌の物理性、土壌化学性(塩基バ ランス)は2次的要因であることが示されている (峯・小田, 1984). しかし, 今回の細根量に対する 影響は、過剰な窒素の施肥が、土壌改良資材施用に よる物理性改善効果より高かった.これは、試験に おける土壌改良資材施用と窒素施肥量の影響の度合 いを比較すると、窒素施肥量の方がより大きかった ため,結果の変動幅が大きくなり,寄与率が高くな ったためと考えられる (第22表). 試験4年目の窒 素施肥量3倍量区は、年間窒素施肥量で1ha当たり 759 kg である.また、土壌改良資材の施用量は生産 現場で施用されている量に近い. これらのことから, 細根量を増加させる目的で、土壌改良資材を施用し ても, 窒素施肥量が過剰であれば, 後者の影響が強 く現れ、細根量は少なくなったと推察された.

#### ゼオライト施用の影響

ゼオライトは土壌中の CEC を高くし, 陽イオンの 流亡を抑制する土壌改良資材であることから(長野, 1996),本試験の C 要因として取り上げ,施用量が土 壌化学性,樹体生育,葉中無機成分含有率,果実品 質,細根量に及ぼす影響をみた.しかし,土壌中の CEC を増加させる効果は認められたものの,他には 影響がみられなかった(第17~21表).また,それ ぞれの測定項目へのゼオライト施用量の寄与率は土 壌改良資材,窒素施肥量に比較し低かったこと(第 22表)から,本試験におけるゼオライト施用の影響 は小さかったと考えられた.

以上のように、'不知火'に対する窒素施肥量の違いは、樹体生育、果実収量・品質、葉中無機成分含 有率に影響した.また、土壌改良資材を施用するこ とで樹体生育が良好になり、細根量が増加したもの の、窒素施肥量が多いと細根量が少なくなる現象が 確認された.これらを総合的に判断すると、樹勢を 強化するためには土壌改良資材を施用した上で基準 量~2倍量(7年生で224~448 kgN・ha<sup>-1</sup>)の窒素を 施肥する必要があると考えられた.今後は成木を用 い、基準量区と2倍量区の間でさらに綿密な施肥量 を解明する必要がある.

## 第4章 ウンシュウミカンの栄養診断のためのヨウ素比色法による デンプン簡易測定法

#### 1. 緒 言

ウンシュウミカンでは、秋季から貯蔵養分として 樹体内に炭水化物を蓄積することが知られている (久保田ら、1966).貯蔵される炭水化物の量はその 年の着果負担との関係が深く(岡田・小中原、1985; 清水ら、1975),着果の多少は特に根中のデンプン含 有率に対する影響が大きいとされている(清水ら、 1975).

静岡県では、生産現場におけるウンシュウミカン の樹体栄養診断を行うため、冬季の根中炭水化物含 有率を測定している.しかし、炭水化物のうちデン プン測定については従来の過塩素酸抽出法や酵素法 では操作が煩雑で時間がかかり、多数の試料を扱う 場合には難点があった.

デンプンの簡易測定法として糖分析計による方法 (伊藤ら, 1983),携帯型屈折糖度計による方法(杉 山・大城, 1999),ヨウ素デンプン反応による方法(川 野,1987;杉山・大城,1999),F-キットスターチ による方法(杉山・大城,1999)などが検討されて きたが,精度や分析コスト等の問題点を有している ことから,多くの生産現場に即応できる測定法は確 立されていなかった.

そこで,生産現場で農業改良普及員や農協技術指 導員が多数の試料を測定しなければならないことを 考慮し,デンプンの抽出方法を簡易化し,迅速かつ 既存の機器で測定可能な簡易法(以下,ヨウ素比色 法)を考案した.さらに,ウンシュウミカンの根お よび枝中のデンプン含有率を当センターで従来から 行われてきた酵素法(杉山和ら,1992)(以下,従来 法)とヨウ素比色法で測定結果を比較し,分析時間 や操作性など実用性を含めた生産現場に適用可能な デンプンの簡易分析法についての考察を行った.

#### 2. 材料および方法

実験材料には、静岡県各地において栽培されてい る露地栽培のウンシュウミカン'青島温州'を用いた. 21 園地より1996年11月29日から12月1日にかけ て採取した中根(直径約5mm,採取方法は第1章と 同じ)および枝(長さ約15cm,目通りの高さ、着枝 角度は水平~やや上向き)を分析試料として供試し た.採取した中根および枝は洗浄後、80℃で通風乾 燥し、微粉砕したものをデンプン測定用試料とした. 従来法によるデンプンの測定は次のように行った. すなわち,試料 0.5 gに 80%エタノール 25 mL を加 え,可溶性糖類を,還流冷却管を付して 87℃で 30 分間抽出後,遠心分離により除去した.残渣に蒸留 水 10 mL を加え,沸騰湯煎中で 30 分間加熱し,デ ンプンを糊化させた.冷却後,酵素液 [グルコアミ ラーゼ (*Rhizopus*, Nagase Biochemicals 製, 1×10<sup>4</sup> GUN·g<sup>-1</sup>) 5 mg にマルターゼ (粗酵素,東京化成製) 10 mg を加え, pH 5 の酢酸緩衝液で 50 mL に定容 したもの]を加え,40℃で 2 時間半加水分解して糖 化させた.除タンパクを行った後,Somogyi-Nelson 法で還元糖を定量し,その値に 0.9を乗じたものをデ ンプン含有率とした.

### 試験1 ヨウ素比色法におけるデンプン抽出方法の 検討

試料中のデンプンを簡易に抽出する方法を検討す るため、A: デンプンを糊化させるための熱処理法3 水準とB:上澄み液の分離法2水準を組み合わせた2 元配置実験計画法として検討した.5点の異なる試料 (根) 0.10gにそれぞれ直接蒸留水 10mLを加えた 後,A:熱処理法(3水準①湯煎中100℃で30分間 ②オートクレーブ中115℃で15分間③オートクレー ブ中115℃で30分間)を行い、デンプンを糊化させ た. その後,B:上澄み液の分離法〔2水準〕〕ろ過(ろ 紙: No. 2, 0110 mm, ADVANTEC 製) ②遠心分離 (3000 rpm, 常温で5分間)〕で沈殿物と分離した. 得られた上澄み液に6 mol・L<sup>-1</sup>の塩酸を駒込ピペット により3滴加え、さらに0.05 mol・L1のヨウ素溶液 を2mL加えて反応させた後,50mLに定容し,660 nmにおける吸光度を分光光度計により測定した. デンプン標品 (でんぷん溶性・関東化学) について求 めた吸光度-デンプン濃度の検量線からデンプン含 有率を求め、これらの結果から抽出方法として検討 した A, B 2 要因の測定値に及ぼす影響を解析した. なお,対照区は従来法で行い,各区2反復で行った. 試験2 ヨウ素比色法と従来法によるデンプン測定

値間の関係

根と枝ともに約40点の試料を用いて、ヨウ素比色 法では試験1で検討した結果より決定したデンプン 抽出方法を用い、ヨウ素比色法と従来法でデンプン 含有率を測定し、両方法による測定値間の関係を検 討し、ヨウ素比色法の実用性について検討した.





#### 3. 結 果

濃度の異なるでんぷん溶性の吸光度を測定したと ころ、デンプン濃度と吸光度の間に高い相関 (R<sup>2</sup> = 0.9997\*\*)が認められ、ヨウ素比色法における 検量線としての使用は十分可能であった(第12図). (1) ヨウ素比色法におけるデンプン抽出方法の検討 デンプン抽出を行う熱処理方法を比較すると、 オートクレーブ中115℃で15分および30分処理で は、いずれの試料でもほぼ同じデン プン含有率を示し,従来法によるデ ンプン含有率が約76 mg・g-1DW 以 下になるとそれに比べてやや低くな る傾向にあり,約110 mg・g-1DW 以上ではやや高くなる傾向にあっ た.しかし、湯煎中100℃で30分 間処理では、いずれの試料中におい てもデンプン含有率は従来法より低 くなる傾向にあった.一方,上澄み 液の分離方法を比較すると, 遠心分 離をする方がろ過をするよりデンプ ン含有率は高くなり、従来法での値 が約110 mg・g-1DW 以上になると それより高い値を示す傾向であった (第23表).

(2) ヨウ素比色法と従来法によるデ ンプン測定値間の関係

根の試料におけるヨウ素比色法と 従来法によるデンプン測定値の関係は第13回に示 すとおりである.両者の測定値間には高い相関関係 (*r* = 0.981\*\*) が認められ(第13回),回帰直線*y* = 1.21*x* + 0.148 が推定された.また,回帰式(*y*=a*x*+b) の係数 a, b の信頼度 95%信頼区間は*a* = 1.21 ± 0.075, *b* = 0.148 ± 0.277,回帰直線の推定の標準誤差 は 0.587 であった.推定値*y* の 95%信頼区間は*y* =

第23表 簡易法における異なる熱処理および上澄み液分離方法がデンプン測定値に及ぼす影響 (Table 23. Effect of different heat treatment and filtration methods on data of starch content using the new, simple, and rapid analytical method)

						$(mg \cdot g^{-1}DW)$
				サンプル番	号	
A:熱処理方法	B:分離方法	А	В	С	D	E
湯煎·煮沸 30 分	遠心分離	3.78	33.3	69.3	98.6	190.4
	ろ 過	2.94	27.8	57.4	74.3	154.8
オートクレーブ	遠心分離	5.07	39.0	78.6	120.3	208.9
115℃・15 分	ろ 過	4.10	31.9	63.4	112.9	177.4
オートクレーブ	遠心分離	4.90	36.0	79.1	145.0	205.6
115℃・30 分	ろ 過	4.48	29.8	63.9	114.2	180.5
従来法		$7.1{\pm}1.9^{\mathrm{z}}$	$41.2 \pm 2.5$	$76.4 \pm 0.5$	$110.1 \pm 3.2$	$184.0 \pm 5.6$
	熱処理	**	**	**	**	**
分散分析	分離方法	**	**	**	**	**
	交互作用	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

z:平均值±標準偏差

\*\*:1%水準で有意, n.s.: 有意差無し

29

 $1.21x + 0.148 \pm 1.19\sqrt{1.05 \cdot 0.02x + 0.0039x^2}$ で示され た.また,枝の試料においても両者の間には高い相 関  $(r = 0.962^{**})$ が認められ (第14図),回帰直線 y = 1.14x + 0.0066が推定され,回帰係数 a,bの信頼 度 95%信頼区間ならびに回帰直線の推定の標準誤 差(s)は、それぞれ  $a = 1.14 \pm 0.075$ ,  $b = 0.0066 \pm 0.173$ , s = 0.272であった.推定値 yの 95%信頼区間は y = $1.14x + 0.0066 \pm 0.663 \sqrt{1.07 \cdot 0.067x + 0.026x^2}$ で示さ れた.

#### 4.考察

#### ヨウ素比色法の測定原理

デンプンは冷水には溶解しないため、デンプンを 水に入れただけでは白濁した懸濁液であるが、これ を熱することでデンプン粒は水を吸収し膨らみ、あ る限界まで達すると粒が崩壊・分散し、熱水中に溶 解する糊化という現象がおこる.この糊化によりデ ンプン粒は透明になることが知られている(高橋、 1996).本研究ではこの原理を利用し、試料に水を加 え加熱することでデンプンを透明な状態で抽出し, 分光光度計の使用を可能にした.

#### デンプンの標準物

今回はデンプンの標準物として、でんぷん溶性(関 東化学)を用いた.デンプンは植物・作物ごと形態 が異なり、そこに含まれるアミロースとアミロペク チンの割合も違っていることが知られている(高橋、 1996).アミロースとアミロペクチンの割合が異なる と、ヨウ素デンプン反応により呈色した液の吸光特 性が異なり、アミロースの割合が高いほど、同じ濃 度でも、すべての波長で吸光度は高かった(第15図). また、でんぷん溶性でも、薬品会社が異なるとその 吸光度も異なっており(データ省略)、それは薬品会 社がでんぷん溶性を作成する際の原料に起因すると 考えられた.ちなみに、今回標準物として用いたで んぷん溶性(関東化学)は、ポテトが原料だが、その アミロースの含有割合は20~30%程度であった(第 16図).



#### 第13図 従来法および簡易法によるウンシュウミ カンの根中デンプン測定値間の関係

(Fig. 13. Relationship between analysis data of starch content in roots and method used: the conventional method and the new, simple and rapid method.)





#### 第14図 従来法および簡易法によるウンシュウミカン の枝中デンプン測定値間の関係

(Fig. 14. Relationship between analysis data of starch content in shoots and method used: the conventional method and the new, simple and rapid method.)

回帰直線の 95%信頼区間	
推定値yの95%信頼区間	
測定値 ●	



#### 吸光度曲線に及ぼす影響



reaction.)

アミロース・アミロペクチン (コーン, シグマ製)

熱湯に溶解させたデンプン液 (200 mg・L-1) にヨウ素溶液を添加し,発色後

分光光度計(U-1000, HITACH)により10 nm 間隔で吸光度を測定



## 第16図 ジャガイモのアミロースとアミロペクチンの割合がヨウ素デンプン反応の 吸光度曲線に及ぼす影響

(Fig. 16. Influence of amylase/amylopectin ratio from potato on absorbance curve of iodine-starch

reaction.)

アミロース・アミロペクチン (ポテト, 関東化学製)

熱湯に溶解させたデンプン液(200 mg・L-1)にヨウ素溶液を添加し,発色後

分光光度計(U-1000, HITACH)により10nm間隔で吸光度を測定

このようにデンプンの種類により吸光度が異なるこ とから、標準物に用いるデンプンにより測定値が変 わることも考えられる.従って、ヨウ素比色法でデ ンプン含有率を定量する場合は、酵素法等の別の方 法で試料中のデンプン含有率を測定し、ヨウ素比色 法との分析誤差を確認する必要があると考えられた.

#### デンプンの抽出方法

分光光度計を使用するため,沈殿物は必ず分離す る必要があった.分離方法を検討し,その分析値を 比較したところ,オートクレーブで熱処理し,遠心 分離を行う方法を用いることが,従来法で得られる デンプン含有率値により近似した値が得られる結果 となった(第23表).一方,湯煎中100℃で30分間 熱処理し,ろ過を行う方法では,試料中に含まれる デンプンの含有率値は従来法に比べて低くなるもの の,含有率値の高低は的確に表され,また,簡易迅 速で特別な機器も使用しないことから生産現場にお いては実用的であると考えられた.そこで試験2で は,デンプンの抽出方法として湯煎中100℃で30分 間熱処理し,ろ過を行う方法を用いることとした.

#### ヨウ素比色法と従来法の分析値比較

根と枝の試料について、ヨウ素比色法と従来法で デンプン含有率を測定し、その値を比較したところ、 いずれも高い相関関係が認められた(第13,14図). また、回帰直線の95%信頼区間および推定値yの 95%信頼区間も小さかった.これらのことから、ウン シュウミカンの根および枝から調製した試料を湯煎 中100℃で30分間熱処理し、ろ過を行う方法でデン プンを抽出し、ヨウ素デンプン反応を応用したヨウ 素比色法では、煩雑なデンプン抽出および糖化操作 の必要もなく、多点の試料を短時間に測定すること が可能となった.また、従来法と比べて測定値はや や低くなるものの、相関が高いことが明らかとなっ た.そして、この方法は多くの生産現場に即応でき る測定方法と考えられた.

## 第5章 ウンシュウミカン '青島温州'の樹体内デンプン含有率の時期的変化と 冬季の根中デンプン含有率による着花量予測

#### 1. 緒 言

ウンシュウミカンには隔年結果現象が存在し,成 り年の生産過剰による低価格,不成り年の果実品質 の低下は生産現場で大きな問題となっている.一方, ウンシュウミカンの隔年結果を防止するため様々な 研究がなされてきたが,特に樹体栄養に着目した隔 年結果樹の着果量と炭水化物含有率との関連につ いては多くの報告があり(Goldschmidt・Golomb, 1982;岡田,2004;大垣ら,1963b;大城ら,1989; 大城ら,2000),収量と炭水化物含有率の間には負の 相関関係のあることが示されている.また,炭水化 物のうち収量・着花量との相関が高いのはデンプン 含有率で,可溶性糖類との相関が高いのはデンプン 含有率で,可溶性糖類との相関は低いことが報告さ れている(Goldschmidt・Golomb,1982;大城ら,1989; 大城ら,2000;清水ら,1975).

本報の第4章において、ウンシュウミカン樹体中 のデンプン含有率を簡易に分析するヨウ素比色法を 開発した.そこで本章では、この測定法を用い、デ ンプン含有率による樹体栄養診断を行うため、着果 量の異なるウンシュウミカン'青島温州'の葉、枝 および根中における冬季のデンプン含有率の時期変 化を調査し、前年の着果負担との関係を追及すると ともに、冬季の炭水化物栄養を把握するために最も 適した試料採取の部位および時期を知ろうとした. また、秋季から春季における光合成速度を測定し、 デンプン含有率の時期変化との関係を検討した.さ らに、生産現場の樹について、冬季の根中デンプン 含有率と次年度の着花量との関係を検討し、根中デ ンプン含有率による着花量の予測の可能性について 検討した.

## 2.材料および方法

### 試験1 樹体内デンプン含有率の時期変化

静岡県農林技術研究所果樹研究センター(旧静岡 県柑橘試験場)のコンクリート枠(3.6 m×3.6 m) に植栽された14年生 '青島温州'を用い,成り年樹 7本と不成り年樹4本を供試した.成り年樹は1999 年8月中旬に摘果を行い,適正着果量の葉果比30と した.また不成り年樹は着花が少なかったため,無 摘果で栽培した.果実は1999年12月4日に一斉収 穫した.

試料の採取は、1999年9月27日から2000年4

月14日まで約1か月間隔で7回,枝(不着果の春枝, 長さ:15~20cm,枝の着生角度:水平からやや上向 き,採取位置:目通りの高さの東西南北から各1本 の計4本),葉(採取した枝の葉),根(太さ:約5mm, 採取位置:幹と対角線上の2個所から深さ0~20cm の位置,採取量:合計で長さ50cm程度)を晴天日 の午後に採取した.

採取した試料は洗浄し70℃で乾燥後,振動式粉 砕機で微粉砕し,分析に供した.デンプンの分析は 第4章で開発したヨウ素比色法で行った.デンプン の標準物はでんぷん溶性(関東化学)を用いた.

#### 試験2 秋季から春季における光合成速度

試験1と同じ樹(16年生 '青島温州')を用い, 成り年樹と不成り年樹をそれぞれ3樹供試した.

測定は2001年11月から2002年4月まで,午前9時から11時に,月1回または2回行った.測定に用いる葉は,樹冠外周部に着生している春枝(15~20 cm,不着果,夏芽の発生なし)の中位葉とし,1樹につき10~20 枚測定した.測定に用いた枝は毎回同じものとした.

光合成の測定は携帯型光合成測定装置(CIRAS・ KOITO)を使用し、二酸化炭素濃度 360 ppm、光量 子束密度 1,000 μ mol/m<sup>2</sup>/s, 流量 200 mL/min に設定 した.また、葉面温度、湿度は測定日の 10 時頃の気 温,湿度に設定した.

みかけの光合成速度が 0.5 μ molCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/s 以下の 葉は光合成を行っていない葉(以後,光合成休止葉 とする)とし,平均からは除外した.また,測定し た葉のうち,光合成休止葉の割合を算出した.

## 試験3 生産現場における根中デンプン含有率と収 量および翌年の着花量との関係

1998 ~ 2000 年の12 月初旬に,静岡県内の代表的な '青島温州'成木 (15 ~ 35 年生)の16 園地について,各園 5 樹の樹冠占有面積当たり収量 (1 本当たり着果数×10果の平均重/樹冠占有面積)を調査し,同時期の根中デンプン含有率との関係を検討した.根の採取方法及び分析方法は試験1と同様に行った.

着花量の調査は、翌年の5月上中旬の開花始期~ 満開期に、カンキツの調査法(農林水産省果樹試験 場興津支場編、1987)に従い、枝先50 cm 調査法で 行った. すなわち,各調査樹の東西南北4方位から 計4本の前年枝を選び,その先端から50 cm 戻った 位置から先端までに着生している花数,新葉数,旧 葉数を調査した.

## 3. 結 果

#### (1) 樹体内デンプン含有率の時期変化

供試樹の収量を第24表に示した.成り年樹の1樹 当たり収量は不成り年樹の約4.5倍,面積当たり収量 では5.3倍だった. 葉中デンプン含有率の経時的変化は第17回,枝中 デンプン含有率は第18回,根中デンプン含有率は第 19回に示すとおりである.

#### 第24表 表年樹と裏年樹における平均収量(1999)

(Table 24. Comparison of fruit yield between on-year trees and off-year trees .)

	収量		
	kg/樹	t /ha	
表年樹	50.7	90.9	
裏年樹	11.2	17.1	





<sup>↓</sup>は収穫日を示す(Arrow indicates date of harvest.)



#### 第18図 14年生 '青島温州'の不着果新梢中の枝中デンプン含有率の経時的変化

(Fig. 18. Seasonal changes in starch content of non-bearing shoots of 14-year-old 'Aoshima Unshu' Satsuma Mandarin trees.) ↓は収穫日を示す (Arrow indicates date of harvest.)

葉中デンプン含有率は、成り年樹、不成り年樹と もに12月まで低い含有率で推移したものの、1月か らやや増加し、3月以降は急激に増加した(第17図). また、不成り年樹は成り年樹より常に高い含有率で 推移した.

枝中デンプン含有率は、成り年樹で9月から11月 までやや減少し、11月、12月にはほぼ0mg・g<sup>-1</sup>DW に近い値で推移した(第18回).しかし、収穫後の1 月以降微増、3月以降は急増し、4月には不成り年樹 より多くなった.また、不成り年樹よ9月から12月 までの変化は小さく、常に成り年樹より高い値で推 移した.そして1月以降微増し、3月以降成り年樹に は及ばないものの急激に増加した.

根中デンプン含有率は、9月には、成り年樹と不成

り年樹でほぼ同じ値であったものの,成り年樹では, 12月まで減少し,収穫後の1月以降急激に増加し, その増加は4月まで続いた(第19回).一方,不成 り年樹では,11月から急激な増加が始まり,2月ま でほぼ直線的に増加した.しかし,2月以降は含有率 が増加せず,4月では成り年樹と同程度の値となった. 成り年樹と不成り年樹の葉・枝・根中のデンプン 含有率の時期変化を比較した結果,最もその差が大 きかったのは,11~2月の根であり,最大103.8 mg・ g<sup>-1</sup>DW であった.

#### (2) 秋季から春季における光合成速度

光合成速度の測定期間中の日平均気温は第20図 に示すとおりである.その推移は11月から2月まで 漸次低下し,3月以降上昇した.



第19図 14年生 '青島温州'の根中デンプン含有率の経時的変化

(Fig. 19. Seasonal changes in starch content of roots of 14-year-old 'Aoshima Unshu' Satsuma Mandarin trees.)

↓は収穫日を示す(Arrow indicates date of harvest.)



成り年樹と不成り年樹の光合成速度の経時的変化 は第25表に示すとおりである.11月では成り年樹・ 不成り年樹ともに,調査期間中の最も高い値だった が,気温の低下とともに光合成速度の値は小さくな り,1月と2月は最低となった.しかし,2月でも気 温の高かった日(2月7日)では,着果量の多少に関 わらず11月の約半分の光合成速度だった.3月,4 月になると気温の上昇とともに光合成速度も高くな った.しかし,気温が11月と同じ程度まで上昇して も,光合成速度は11月の値より低かった.

着果量が光合成に及ぼす影響は、果実が着果している11,12月には、成り年樹は不成り年樹より光合成速度が大きかった。そして、収穫後の12月後半以降は差が小さくなったものの4月まで成り年樹の方が、光合成速度は大きかった。

測定葉に占める光合成休止葉の割合は1月と2月

で特に高かった(第25表).気温の高かった2月7 日および3月以降は光合成休止葉の占める割合が低 くなった.

## (3) 生産現場における根中デンプン含有率と収量 および翌年の着花量との関係

調査樹の収量は第26表,その根中デンプン含有率 は第27表に示すとおりである.1998~2000年の樹 冠占有面積当たり収量は0.5~180.6 t/ha と変動幅は 大きかった(第26表).また,根中デンプン含有率 も0.9~127.0 mg・g<sup>-1</sup>DW と差が大きかった(第27 表).

樹冠占有面積当たり収量と根中デンプン含有率と の関係は第21図に示すとおりである.収量が多いと 根中デンプン含有率は低く,収量が少ないと根中デ ンプン含有率が高くなる負の相関関係がみられた.

第25表	'青島温州'	(16年生)	の光合成速度の経時的変化
(Table 25.	Seasonal ch	anges in p	photosynthetic rate of 16-year-old
'Ae	oshima Unsh	u' Satsun	a Mandarin trees.)

	華油		光合月	成速度	光合成位	木止葉率 y
月/日	朱価 (℃)	天気	(µ molC	$O_2/m^2/s$	(	%)
	(0)		成り年樹	不成り年樹	成り年樹	不成り年樹
11/7	20	晴れ時々曇り	$12.5 \pm 0.2^{z}$	$9.6\!\pm\!0.8$	0	5.8
12/5	17	晴れ時々曇り	$8.1 \pm 0.5$	$6.4\!\pm\!0.3$	8.3	5.0
1/9	9	快晴	$2.0\!\pm\!0.2$	$2.0\!\pm\!0.2$	20.6	22.3
2/7	13	うす曇り	$5.1 \pm 0.2$	$4.8 {\pm} 0.9$	13.3	10.7
2/13	9	快晴	$2.7 \!\pm\! 0.4$	$1.7\!\pm\!0.1$	14.2	26.1
3/4	13	晴れ	$4.2 \pm 0.7$	$3.7 \!\pm\! 0.4$	4.4	2.2
3/14	16	晴れ	$4.4 \pm 0.9$	$3.8 {\pm} 0.3$	7.8	6.8
4/6	19	晴れ時々曇り	$3.8 \pm 0.4$	$3.0\!\pm\!0.4$	2.6	4.3
4/19	23	晴れ時々曇り	$5.2 \pm 0.4$	$5.3 \pm 0.7$	2.8	8.9

z 平均值 ± 標準偏差

» みかけの光合成速度が 0.5 μ molCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/s 以下の葉は、光合成休止葉とした

第26表 調査樹の1本当たり収量と面積当たり収量

(Table 26. Comparison of fruit yield by individual tree and ground area)

	19	98	19	99	200	0
	kg/樹	t /ha	kg/樹	t /ha	kg/樹	t /ha
平均	79.4	59.7	91.5	65.9	71.5	57.5
標準偏差	44.1	34.1	41.2	26.5	53.0	42.2
Max.	222.9	149.6	194.4	133.8	227.9	180.6
Mın.	5.4	4.1	0.8	0.5	1.2	1.2

#### 第27表 調査樹の根中デンプン含有率の違い

(Table 27. Comparison of starch content of roots)

		(mg	· $g^{-1}DW$ )
	1998	1999	2000
平均值	20.3	12.1	30.3
標準偏差	25.4	10.7	32.5
Max.	127.0	57.6	114.3
Min.	1.3	3.9	0.9



第21図 収量と根中デンプン含有率との関係 (Fig. 21. Relationship between fruit yield and starch content of roots)



第22図 根中デンプン含有率と翌年5月の着花量(葉 花比)との関係



この関係は式 y = 4.86x<sup>-0831</sup>で示され、その寄与率は48.4%だった(第21図).

根中デンプン含有率と翌年の着花量との関係は第 22 図に示すとおりである.着花量を葉花比(1花当 たりの葉数)で表すと,根中デンプン含有率と葉花 比との間には負の相関関係がみられ,関係式は*y* = 7.71*x*<sup>-0.831</sup>で示され,その寄与率は54.4%だった(第 22 図).

#### 4. 考察

### 着果量が樹体内デンプン含有率の経時的変化に及ぼ す影響

着果量の多少が葉,枝および根中のデンプン含有 率に及ぼす影響については,既に多くの報告がある (Goldschmidt・Golomb, 1982;岡田, 2004;清水ら, 1976;清水ら,1978).本試験では成り年樹と不成り 年樹の '青島温州'成木について,試料採取間隔を 短くし,各部位のデンプン含有率の変化を9~4月ま で詳細に調査した.また,生産現場で栄養診断する ことを考慮し,第3章で開発したヨウ素比色法で分 析を行った.

清水ら(1978)は、尺鉢に植栽された3年生の宮 川早生を用い、着果樹(1樹につき果実4個を着果) と全摘果樹の炭水化物含有率(デンプン,可溶性糖 類)の経時的変化を詳細に調査しており,本報告と 同様に着果樹では全摘果樹よりデンプン含有率が低 く推移することを報告している.しかし,いずれの 部位も含有率差は本試験のほうが大きく,2月以降の 枝と根のデンプン含有率も本試験のほうが多くなっ た.また,根中デンプン含有率の推移について,不 成り年樹では9月以降,成り年樹では収穫後,急激 に増加したことも,本試験で新たに確認された(第 19図).

#### 栄養診断のための適正な採取部位と採取時期

ヨウ素比色法は溶液中のデンプン濃度と、それに ヨウ素溶液を添加し発色した溶液の吸光度が正比例 することを利用した分析方法であり、短時間で簡易 に行える半面、分析誤差も大きいことが予想される. このことから、デンプン含有率差が大きいほど、正 確に樹体の状態が判断できると考え、本試験ではそ の部位と時期を明らかにしようとした.その結果、 11~2月の根のデンプン含有率が最も含有率差が大 きく(第19図)、本試験の分析法を用いた場合の、 栄養診断ならびに着花量予測のための採取時期およ び部位に適すると考えられた. 葉と枝はデンプン含 有率差が小さいこと,果実の着果位置の影響を受け やすいことなどの理由から,本試験の分析方法では 診断の部位には適さないと考えられた.しかし,葉 と枝は試料採取が根に比べ容易であることから,今 後はこれらの部位による診断も視野に入れ,研究を 進める必要がある.

#### 冬季の光合成速度の経時的変化

本試験の調査において、樹体内のデンプン含有率 は根で冬季も増加を続け、枝葉では春季に増加した (第17,18,19図).一方、福井ら(1966)は冬季に、 どの器官でも糖、デンプン、ペクチンなどの機能性 炭水化物含量が減少し、それは冬季に光合成能が低 下するためと述べている.そこで、着果量の異なる 温州ミカンについて、冬季におけるみかけの光合成 速度の時期変化を調査した.

ウンシュウミカンの光合成速度の季節変化につい ては、冬季の12月から翌年の3月にかけては、光合 成はほとんど行われず、呼吸がわずかにみとめられ たにすぎないと報告されている(日野ら、1974).し かし、今回の調査では、気温の低下してくる11,12 月でも光合成が盛んに行われていることが確認され た(第25表).また、1、2月では光合成速度の値は 低いものの、光合成は行っていること、2月であって も、気温の高かった日では、11月の約半分の光合成 速度であったことが確認された.この光合成速度の 変化は小野(1985)が報告したように、気温と地温 が光合成速度の制限要素となっていると考えられた.

近年は地球温暖化の影響で、厳冬期でも比較的気 温の高い日がみられること、常緑果樹であるため冬 季でもクロロフィルを多く含む葉が多量に存在し、 最近では寒害による落葉がみられないことなどから、 静岡県において冬季にウンシュウミカンが光合成を 行いやすい環境になってきていると考えられた.

厳寒期の1月や2月であっても、光合成を行って いることが確認されたことから、収穫後に根中デン プンが急増したのは、葉で光合成された炭水化物が 地下部に転流し、デンプンとして蓄積したためと考 えられた.

#### 根中デンプン含有率と収量との関係

生産現場の樹体について、12月初旬の根中デンプン含有率と当年の樹冠占有面積当たり収量との関係を検討したところ(第21図)、大城ら(2000)の報告と同様に負の相関関係がみられた.しかし、ばら

つきが大きく、その原因として、調査樹は静岡県内の各産地の代表園であり、土壌条件や気象条件が異なること、1998 ~ 2000 年で気象条件が異なること、樹齢が15~30 年と幅があることなどが考えられた.

大城ら(2000)はこの結果から、冬季根中デンプ ン含有率を分析することで、樹体貯蔵養分として栄 養診断の指標になりうることを報告した. また、本 報の第1章で隔年結果園は収量の年次変化が大きく、 それに伴い根中デンプン含有率も大きく変化するが、 連年結果園では収量が安定しており、根中デンプン 含有率の年次変化も小さいことを示した(第1,2図).

#### 根中デンプン含有率による着花量予測

冬季の根中デンプン含有率と翌春の着花量(葉花 比)との間にも負の相関関係がみられた(第22図). これも大城ら(2000)の結果と一致していた.岡田 (2004)は秋冬季の樹体栄養と次年度の着花量(着 花程度)と生理落果後の着果数の関係について重回 帰分析を行った結果,着花予測には11月の葉と根の 炭水化物含有率(デンプンと可溶性糖類の合計)が, 着果数には2月の根の炭水化物含有率が有効であり, 炭水化物含有率による着花予想と着果量予測が可能 とした.本報告でも12月上旬の根中デンプン含有率 と翌春の着花量との関係は寄与率で54.4%であった ことから,簡易法で分析したデンプン含有率は,生 産現場において実用的な指標になりうると考えられ た.

本試験では葉花比という指標を用いて、花の多少 を示した. '青島温州'の生産現場では, 適正葉果比 30にするために、生理落果終了後の葉果比は15~20、 摘果作業で半分~3分の1程度の果実をとるのが良 いとされている.これらの作業を考慮し、経験的に 着花程度(無:0~甚多:5)で2~4(最適は3)が 適正とされており (データなし), これは葉花比で8 ~2前後にあたる(岡田 2004). この葉花比8~2の 範囲に収まる根中デンプン含有率を第22図から推定 すると、 $10 \sim 40 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} DW$ 程度となり、これより 多ければ着花が極めて多、少なければ極めて少にな ることが予想された. ただし,これは12月初旬の '青 島温州'における値であり、収穫時期、樹齢、栽培 方法 (マルチ栽培等), 産地, 品種等により変化する ことが予想され、今後は、その変動要因も明らかに する必要があると考えられた.

## 第6章 総合考察

#### 葉柄汁液中硝酸イオン濃度による栄養診断

ウンシュウミカンの窒素の栄養診断は、一般的に 葉中の全窒素含有率によっている.これは永年性の ウンシュウミカンの窒素成分はアミノ酸やタンパク 質などの貯蔵窒素として葉に存在する割合が高く, 各県でその基準値が設定されている(石原,1982; 静岡県農林水産部研究調整室編,2002).

近年, 葉柄汁液中の硝酸イオン濃度による栄養診 断がリアルタイム栄養診断として, 野菜, 花, 果樹 など,多くの作物により実施されてきた(六本木, 2007). そして, いずれの作物においても, 窒素施用 量または土壌中の窒素量を反映し、基準値が設定さ れている.本試験においても、窒素施用量がウンシ ュウミカン葉柄汁液中の硝酸イオン濃度によく反映 したことから、これを指標に栄養診断が可能と考え られた (第5表). これは、ウンシュウミカンでは吸 収された硝酸イオンは一部が有機体(アスパラギン) になるが、大半は硝酸イオンのまま地上部に転流し (高辻, 1987),それが葉柄中に存在するためと考え られる. 一方, リンゴ, ナシ, モモなどでは吸収さ れた硝酸イオンが地上部に転流する過程で,低分子 の有機態窒素化合物に変換し, 葉柄内から硝酸イオ ンがほとんど検出されないことから、葉柄汁液中の 硝酸イオン濃度での栄養診断はできないとされてい る (六本木, 2007).

本試験において, 葉柄汁液中の硝酸イオン濃度の 経時的変化を調査したところ, 夏季の8月までは濃 度が高くなるが, それ以降減少し, 異なる施肥量が 葉柄汁液中硝酸イオン濃度に大きく反映されたのは 7~9月であった(第4図).このことから,時期を限 定すれば, ウンシュウミカンにおいても葉柄汁液中 の硝酸イオンで窒素の栄養診断が可能であると考え られた.和歌山県では7月の早生温州の栄養診断に 使用しており,硝酸イオンが 600 mg・L<sup>-1</sup>以下になっ た場合は, 窒素の葉面散布を実施するよう指導して いる(鯨ら, 2003).

第3章において,施肥量試験を行っている中晩柑 類の'不知火'と'はるみ'についても,葉柄汁液 中の硝酸イオン濃度を測定した.いずれの品種も施 肥量を反映したことから(第15表),他のカンキツ 類でも利用できると考えられた.ただし'不知火' では同じ施肥量の'はるみ'に比べ硝酸イオン濃度 が低く、これは硝酸イオンの吸収量が少ないためか、 葉身の形状が異なるためか('不知火'には広い翼葉 がある)、今後更に検討する必要があると考えられた.

### 栄養診断による適正な窒素施用量の把握と樹勢強化 のための肥培管理

一般的に果樹の施肥量は 施肥量=(吸収量-天 然供給量) / 吸収率 で決定される. ウンシュウミカ ンでは、窒素施用量と最高収量との関係や増収効果 が300kgN・ha-1が上限であるとの報告から,現在は 250~300 kgN・ha<sup>-1</sup>の窒素施用量となっており(福 元, 2002), 静岡県においても 300 kgN・ha<sup>-1</sup>(普通 温州・鉱質土壌)を施肥基準としている(静岡県農林 水産部研究調整室編, 2002). 一方, 収穫時期の遅い '甘夏'等の中晩柑類の施肥量は、ウンシュウミカ ンより多く,静岡県では400 kgN・ha-1を基準として いる(静岡県農林水産部研究調整室編, 2002).一般 的に中晩柑類は樹勢が強く,窒素を多く吸収する傾 向があるが、 '不知火' は栽培当初から樹勢が弱いこ とが問題となっていた.そのため、生産現場では施 肥量を増やす傾向が強く、それが土壌環境を悪化さ せ、更に樹勢を低下させていた(岡島, 1999).

本試験では適正な窒素施用量を明らかにするため, 第3章で施肥量を半量・基準量・2倍量・3倍量の4 段階に分け試験を実施した. 第3章の試験1と試験2 で共通した窒素への反応は①窒素施用量が多いほど 葉中の窒素含有率が高くなった②2倍量区と3倍量 区では窒素含有率差が小さかった③樹体生育,果実 収量は基準量区と2倍量区で多かった④施肥量が多 いほど果皮率が高くなり、比重が小さくなるととも に糖度は高くなった等であった.また第3章の試験 1において、半量区では窒素の栄養診断適正値を下 回った. 第3章の試験2では施肥量が多いと酸が高 くなる現象も確認された.これらのことから、基準 量区~2倍量区 (7年生で224~448 kgN・ha<sup>-1</sup>) が適 正な施肥量と考えられた.本試験では造成して間も ないほ場での試験であり,その土壌中には有機物や 肥料成分をほとんど含まなかった. このことから, 窒素の天然供給量の多い肥沃な土壌では、本試験よ り少ない施肥量で最も良い結果となることも考えら れた. また, '八朔'では, 果実品質に影響がみられ たのは幼木時だけだったことから(菅井ら, 1983),

今後は成木で更に詳細な調査を行い,適正な施肥量 を確立する必要があると考えられた.

'不知火'の樹勢の弱い原因として、根量が少な いことがあげられ、その対策がとられてきた(平山 ら, 1996; 加美ら, 1998; 河瀬, 1999b).本報では, 3種類の土壌改良資材を施用したところ、いずれも無 処理区に比べ樹体生育がよくなり(第18表),細根 量も増加した(第21表).これは土壌物理性が改善 され,固相の割合が低くなったためと考えられた(第 16 表). 一方, 土壤改良資材を施用しても, 窒素施用 量が多いと細根量が減少し、根活性も下がる傾向だ った(第21表).また、それらの根は腐敗している 状態が確認され(第11図B),過剰な施肥による障 害が発生していた.小野ら(1986)は細根量が多い ほど地上部の葉量および緑枝重が多いことを報告し, この結果からカンキツ類の果実生産にとって最も重 要な葉量を確保するためには、細根を良く発達させ るような土壌管理が有効であると指摘している.ま た,細根量が多いほど樹体が窒素を多く取り込むこ とも報告されている(杉山泰ら, 2003a). これらのこ とから、'不知火'の樹勢を強化し、葉量を増やすた めには、土壌改良資材を施用した上で、適量の窒素 を施用し、細根量を増加させることが必要と考えら れた.近年,静電容量により簡易・非破壊で樹体の 根量を測定する方法が開発されたことから(草場ら, 2005)、今後はこの方法による根量のモニタリングと 2章の葉柄汁液による栄養診断,4章の根中デンプン 含有率による栄養診断を実施しながら、'不知火'の 樹勢強化と安定生産を図るべきであると考えられた.

## 生産現場の栄養診断値の推移と簡易デンプン分析法の開発

生産現場の栄養診断は 1960 年代後半頃から全国で 盛んに行われ,和歌山県や広島県で成果が公表され ている(和歌山県, 1969;広島県・広島県果実農業協 同組合連合会, 1979).静岡県においても 1957 年頃 静岡ミカンの生産力低下の傾向が現れたため,静岡 県柑橘試験場(現静岡県農林技術研究所果樹研究セ ンター)と静岡県柑橘農業協同組合連合会(現静岡 県農業経済農業協同組合連合会)により, 1961~1971 年に栄養診断事業が県内 400 園について実施された. その後 1978~1980 年に柑橘品種系統技術開発診断 事業で 210 園を, 1986~2005年は柑橘高品質安定生 産モデル園調査事業で 30 園(露地栽培 21 園, ハウ ス栽培 5 園,ボックス栽培 4 園)の調査が実施され てきた. 1990年からは従来の葉中無機成分分析に加 え,根中炭水化物含有率も測定した.

今回は柑橘高品質安定生産モデル園調査事業にお ける 1990 ~ 2000 年での各園の着果量とその根中デ ンプン含有率について検討した.調査園の中には隔 年結果が激しかった園と連年結果していた園があり, それぞれの代表的な3園について、第1、2図に示し た. 現在, 全国的に隔年結果が激しいが, その隔年 結果を誘発した主な原因は 1994・1995 年の夏の高温 乾燥(干ばつ), 1996・1998年の開花・結実期におけ る異常高温, 1991年9月の台風 17・19号の被害と報 告された(木原・小中原, 2000).本調査でも隔年結 果園ではこれらの年に着果量が少なくなった(第1 図). その根中デンプン含有率の変化は, 隔年結果園 の着果量が毎年大きく変化しているのに対応し、デ ンプン含有率も年次変化が激しかった.一方,連年 結果園では落果がおきやすかった年にも十分な着果 量を確保しており、根中デンプン含有率も年次変化 が小さかった(第2図). このような生産現場におけ る調査の結果から,着果数や隔年結果と根中デンプ ン含有率は何らかの関係があると考えられ、大城ら (2000) が述べたとおり、根中デンプン含有率によ る栄養診断が可能と考えられた.

しかし,従来の方法では分析に長時間を要したた め,栄養診断として生産現場の多量の試料分析は不 可能だった.デンプンの簡易分析法は過去にも多く 検討されてきたが(伊藤ら,1983;川野,1987;杉 山・大城,1999),特別な分析機器を使わず,生産現 場でさらに精度良く分析する方法が求められていた. そこで,デンプンが熱水に溶け透明になること(糊 化)を利用し,簡易・正確にデンプン含有率を測定 する簡易法(以後,ヨウ素比色法とする)を開発し, その精度を確認した.ヨウ素比色法は,従来法に比 べやや値が低くなるものの,相関係数は高く(r= 0.981\*\*),生産現場における分析方法として,十分で あった(第13回).このことから,以後,本方法で デンプンの分析を行うことにした.

#### 根中デンプン含有率による栄養診断と着花量予測

隔年結果を抑制するために,多くの研究が行われ てきた(Goldschmidt・Golomb, 1982;岡田, 2004; 大垣ら, 1963a;大垣ら, 1963b;大垣ら, 1965;大 垣ら, 1966;大垣ら, 1967;大城ら, 1989;大城ら, 2000,清水ら, 1975;杉山福ら, 1992;杉山福ら, 1999; 鳥潟ら, 1974a;鳥潟ら, 1974b). その中で,大垣ら

(1963b)は着果量と樹体内炭水化物が関係している ことを明らかにし、Goldschmidt・Golomb (1982) と 清水ら(1975)らは根のデンプン含有率がその影響 を最も反映することを報告した.本報の第4章にお いて,着果量が多い成り年樹と着果量が少ない不成 り年樹について、葉、枝、根のデンプン含有率の経 時的変化を9~4月まで調査した.その結果,不成り 年樹の根中デンプン含有率は他の器官に比べ、早期 から高くなった (第19図). 一方, 成り年樹の根中 デンプン含有率は収穫までほとんど0mg・g<sup>1</sup>DWに 近い値で推移していたが、収穫後急激に増加した. 清水ら(1978)も鉢植えの3年生早生温州で同様な 変化を報告している.このように、根のデンプン含 有率は葉・枝に比べその変化が激しいこと、濃度差 が大きいことから、栄養状態を反映しやすい部位で あり、その濃度差が最大となる12~2月の根が栄養 診断の試料として適していると考えられた.

ョウ素比色法は溶液中のデンプン濃度と、それに ョウ素溶液を添加し発色した溶液の吸光度が正比例 することを利用した分析方法であり、短時間で簡易 に行える半面、分析誤差も大きいことが予想される. このことから、デンプン含量差が大きいほど、正確 に樹体の状態が判断できると考えられ、根中デンプ ン含有率なら、ヨウ素比色法により栄養診断が可能 であると考えられた.

根中デンプン含有率と当年の樹冠面積当り収量と の関係は負の相関関係が認められた(第21図).大 城(2000),清水ら(1975)も同様な報告をしている. 第21図において,同じ着果量でも根中デンプン含有 率の高い樹と低い樹がみられた.このデンプン含有 率に差が生じた理由は不明だが,前者は貯蔵養分が 多い樹,後者は貯蔵養分が少ない樹と診断できると 考えられた.同様な関係は,'不知火'でもみられ, 着果量の少ないほうが根中デンプン含有率は高くな った(杉山・久松,2002).このことから,'不知火' でも,根中デンプン含有率により貯蔵養分量の多少 を判断する栄養診断が可能であると考えられた.今 後は,'不知火'の樹勢強化対策とも関連させ,採取 時期などさらに詳細な検討が必要と考えられた.

次年度の着花量については、前年度の着果量(岡田,2004;清水ら、1975)が関係するという報告が ある.一方、大城ら(2000)は生産現場での詳細な 調査を実施し、冬季の根中デンプン含有率と次年度 の着花量(葉花比)の間に負の関係があること、岡田(2004)は次年度の着花程度の予測(無0~甚5) には11月の葉と根の炭水化物含有率が最も有効で、 着花程度と炭水化物含有率との間に高い正の相関関 係が認められたことを報告した.大垣ら(1963b)は、 デンプンが花芽形成の直接原因ではないが、花芽形 成を起こすホルモンの生成、集積が概観的には、デ ンプン含量にあらわれるのではないかと述べており、 森(1990)も着花促進とデンプン含量の増加に一定 の関係があったことを認めている.本報告において も、12月上旬の根中デンプン含有率と翌年5月の着 花量(葉花比)との間には負の相関関係が認められ、 寄与率は54.4%であった(第22図).このことから 根中デンプン含有率は、着花量予測のための有効な 指標になると考えられた.

本報では葉花比という指標を用いて、花の多少を 示した. '青島温州'の生産現場では, 適正葉果比 30 にするために、生理落果終了後の葉果比は15~20、 摘果作業で半分~3分の1程度の果実をとるのが良 いとされている.これらの作業を考慮し、経験的に 着花程度(無:0~甚多:5)で2~4(最適は3)が 適正とされており、これは葉花比で8~2前後にあた る (岡田, 2004). この葉花比8~2の範囲に収まる 根中デンプン含量を第22図から推定すると、10~40 mg・g-1DW 程度となり、これより多ければ着花が極 めて多、少なければ極めて少になることが予想され た. ただし、これは12月初旬の'青島温州'(露地 栽培)における値であり、マルチ栽培では同じ値で も着花量が少なめになること、樹齢が若い樹(10~ 14年生)では同じ値でも着花量が少なめになること (江本・杉山和, 2003) が報告されている. これ以外 にも収穫時期, 産地, 品種等により変化することが 予想され、今後は、それらの変動要因も明らかにす る必要があると考えられた.

この着花量予測法により,次年度の着花多・適・ 少が判断できれば,剪定作業や肥培管理に活用でき, 安定生産に寄与する手法の一つになるものと考えら れた.静岡県では毎年12月に県下の'青島温州'の 代表園(21園)の根中デンプン含有率を測定し,そ の年の貯蔵養分量や次年度の着果量予測を行い,生 産現場に情報を提供してきた.

ヨウ素比色法は、ヨウ素デンプン反応を利用した 分析法であることから、果樹の種類が異なっても貯 蔵養分としてデンプンが多く蓄積していれば測定が 可能であった.イチジクでは仙田・高瀬(2001)が、 ヨウ素比色法で前年枝のデンプン含有率を測定し、 デンプン含有率が高いほど結果枝の生育が良いこと、 結果枝下段の飛び節が少なくなることを認めている. モモでは星ら(2001)が本法により根のデンプン含 有率を測定し,樹勢の強弱の判断指標にしようと試 みた. 今後はカキのような隔年結果性の強い落葉果 樹で本分析法による栄養診断が可能か検討する必要 があると考えられた.

## 摘 要

本研究では、温州ミカンの安定生産のために、11 年間の生産現場の栄養診断から、葉中無機成分の推 移を明らかにするとともに、隔年結果と根中デンプ ン含有率との関係を検討した.また、従来分析が煩 雑で長時間を要した窒素とデンプンを、生産現場で 短時間に精度よく分析できる簡易法を考案した.こ の方法を用い'不知火'の樹勢強化と高品質安定生 産のための適正な窒素施肥量および土壌管理法を明 らかにするとともに、ウンシュウミカン'青島温州' について、冬季の根中デンプン含有率で着花量を予 測する技術を開発した.

## 静岡県におけるウンシュウミカンの樹体栄養状態の推移と隔年結果性との関係

静岡県下のウンシュウミカン'青島温州'の代表 園において近年11年間の樹体の栄養状態を調査した ところ,以下の事項が明らかになった.

葉中無機成分のうち窒素含有率,リン含有率,カ リウム含有率は基準域の範囲内(N:28~33mg・g<sup>-1</sup>, P:1.0~1.8 mg・g<sup>-1</sup>,K:6~15 mg・g<sup>-1</sup>)で推移した. 一方,カルシウム含有率,マグネシウム含有率,亜 鉛含有率は基準域の下限で推移し(Ca:30 mg・g<sup>-1</sup>, Mg:3.0 mg・g<sup>-1</sup>,Zn:30 mg・kg<sup>-1</sup>),基準域を下回 る年もあった.また,マンガン含有率は基準域を超 えて推移した.これらのことから,窒素,リン酸, カリは従来と同量の施用(N:300 kg・ha<sup>-1</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:120 kg・ha<sup>-1</sup>,K<sub>2</sub>O:240 kg・ha<sup>-1</sup>),苦土石灰は適正量の施用 が必要だった.

根中デンプン含有率は着果量との関連が強く,連 年結果園では含有率の年次変化が小さかった.

# ウンシュウミカンの葉柄汁液中の硝酸イオン濃度による栄養診断

葉柄汁液中の硝酸イオン濃度を指標とし、生産現 場で簡単・迅速にウンシュウミカンの栄養診断をす るため、試料採取条件を検討するとともに、小型反 射式光度計(RQフレックス,MERCK)の実用性を 検討した結果、以下の事項が明らかになった.

ウンシュウミカンの葉柄汁液中の硝酸イオン濃度 は、葉身汁液中の約11~17倍高い濃度であり、その 硝酸イオン濃度は窒素施肥量を反映したことから、 葉柄汁液中の硝酸イオン濃度は施肥量の多少を判断 する栄養診断指標となり得ると考えられた.また、 その測定時期は7~9月が適すると考えられた.

ウンシュウミカンの葉柄汁液中の硝酸イオン濃度 を小型反射式光度計とイオンクロマトグラフにより 測定したところ,その分析値は高い相関がみられた ことから,小型反射式光度計を使用すれば,生産現 場でも簡易に栄養診断が可能と考えられた(第23図). 以上の結果から,以下の操作手順が考えられた. 1)7~9月の時期に,春葉から葉柄を1.0gFW採 取し(第24,25図),薄く切断したのち(第26図), 19mlの蒸留水を加え,乳鉢にて摩砕する(第27図). 2)試験紙を試料に浸し(第28図),発色後,小型反 射式光度計で硝酸イオン濃度を測定する(第29図).

## 窒素施肥量と土壌改良資材の違いがカンキツ '不 知火'の樹体生育・果実品質・樹体栄養状態および根量に及ぼす影響

カンキツ'不知火'において,窒素施肥量と土壌 改良資材を変え,その年の窒素施肥量の違いが樹体 生育,果実品質,樹体栄養・土壌物理性・根量へ及 ぼす影響を4年間調査し,以下のことが明らかにな った.

収量は2倍量区(7年生で448 kgN・ha<sup>-1</sup>)で最も 多くなった.また,果実品質は施肥量の影響を受け, 施肥量が多いと,果皮率が高くなり,果実比重が小 さくなる傾向であった.糖度は施肥量が多いと高く なる年(2003)と差のない年,クエン酸含量は低く なる年(2002)と差のない年があった.葉中窒素含 有率は施肥量が多いと高くなったが,2倍量区と3倍 量区の差は認められなかった.半量区では葉中窒素 適正値を大幅に下回った.土壌改良資材であるバー ク堆肥,ピートモス,パーライトを施用することで, 土壌物理性が改善され,細根量が増加した.また, 窒素施肥量を多くすると,細根量は減少する傾向だ った.土壌改良資材を施用しても,窒素施肥量が多 いと,細根量は減少し,その寄与程度は窒素施肥量 が土壌改良資材施用の約2倍であった. 以上の結果, '不知火'の適正な施肥量は基準量 から2倍量(7年生で224~448 kgN・ha<sup>-1</sup>)の範囲 にあることが推定された.また, '不知火'の細根を 増加させ, 樹勢を良くするためには, 土壌改良資材 を施用した上で, 過剰な窒素施用は避ける必要があ るものと考えられた.

# ウンシュウミカンの栄養診断のためのヨウ素比 色法によるデンプン簡易測定法

生産現場において、特別な薬品や機器を用いること なく、ウンシュウミカンの根および枝中のデンプン を簡単・迅速に測定できる簡易法の操作手順を以下 のように考え、その実用性を検討した.

1) 採取した根(第30図)および枝を十分洗浄した
 後,80℃で通風乾燥後,微粉砕する.

 2) 粉砕試料 0.10 gDW(第 31 図)に蒸留水 10 mL
 を加え(第 32, 33 図),沸騰湯煎中で 30 分間加熱し (第 34 図),デンプンを糊化させる.

糊化したデンプンを含む上澄み液と沈殿物を分離するためにろ過を行い、ろ紙上の残渣を数回洗浄後、ろ液を 50 mL のメスフラスコ中に入れる(第35図).



#### 第23図 葉柄汁液中硝酸イオンの測定に用いる器具・試薬

(Fig. 23. Labware and reagents used for analysis of nitrate nitrogen concentration in petiole juic.) ①はさみ ②カーボランダム 400 メッシュ③蒸留水 ④乳鉢・乳棒 ⑤電子天秤 ⑥RQ フレックス ⑦試験紙 ( $NO_3^-$ : 測定レンジ 5 - 225 ppm ) ⑧10 ml メスピペット



**第24図 試料の採取** (Fig. 24. Sampling of petiole.) 不着果新梢中位葉を,葉柄を含め採取



第25図 電子天秤による計量(1.0g) (Fig. 25. Weighing 1.0g of petioles on an electronic balance.)



第26図 薄く切断 (Fig. 26. Cutting petioles into slices.)



第27図 乳鉢で摩砕 (Fig. 27. Triturating petiole mixtures using a mortar and pestl.)



第28図 試験紙の試料への浸漬 (Fig. 28. Dipping test paper into triturated petiole juice.)



第29図 小型反射式光度計による硝酸濃度の測定 (Fig. 29. Measurement of nitrate nitrogen concentration of samples using the reflectometer.)



第30図 5mm程度の中根を採取 (Fig. 30. Sampling of medium roots (diameter: 5 mm).)



第31図 0.10gを計量 (Fig. 31. Weighing 0.10 g of sample on an electronic balance



第32図 遠沈管に試料を入れる (Fig. 32. Placing sample into centrifuge tips.)



第33図 蒸留水10mLの添加 (Fig. 33. Adding 10 mL of distilled water.)



第34図 30分間、試料を煮沸 (Fig. 34. Boiling mixtures for 30 minutes.)

第35図 ろ過 (Fig. 35. Filtering mixtures.)



第36図 塩酸とヨウ素溶液の添加 (Fig. 36. Addition of three drops of 6 mol·L<sup>1</sup> hydrochloric acid and 2 mL of 0.05 mol L<sup>1</sup> iodine solution to the sample.)



第37図 分光光度計による測定 (660nm) (Fig. 37. Spectrophotometric measurement of absorbance of sample solution at 660 nm.)

4) 6 mol·L<sup>-1</sup>の塩酸を駒込ピペットにより3滴加えて
 微酸性とし、さらに0.05 mol·L<sup>-1</sup>のヨウ素溶液を2
 mL加えて反応させた後、蒸留水で50 mLに定容する(第36図).

5) 分光光度計を用いて試料溶液の 660 nm におけ る吸光度を測定する (第 37 図).

6) デンプン標品(でんぷん溶性,関東化学)について求めた吸光度-デンプン濃度の検量線から試料中のデンプン濃度を求める.

試料1点当たりの測定時間は従来法では9時間要 したのに比べ,簡易法では1時間程度と著しく短縮 された.また,同時に多点数の前処理ができるため, 1日当り100点以上の分析が可能であった.従来法と 簡易法の分析値を比較したところ,高い相関関係が 認められ,実用性が高いことが明らかになった.

## 5. ウンシュウミカン '青島温州'の樹体内デンプン 含量の時期的変化と冬季の根中デンプン含量によ る着花量予測

着果量の異なるウンシュウミカン'青島温州'に ついて,秋季から春季の樹体内のデンプン含量(葉, 枝,根)を調査したところ,いずれの部位も不成り 年樹で成り年樹より高い値で推移した.また,根の デンプンは他の器官より早くから蓄積しはじめ,不 成り年樹で11月から,成り年樹で収穫後の1月から それぞれ含量が多くなった.着果量の違いが樹体内 のデンプン含量に最も反映する部位と時期は,11~ 2月の根であった.このことから,これが冬季の炭水 化物の栄養状態を把握するために適する時期および 部位と考えられた.

デンプン含量が増加した原因を解明するため,光 合成速度を測定した.その結果,ウンシュミカンは 冬季においても光合成を行っていたことから,根中 デンプン含量の増加は,光合成に起因していると考 えられた.

一方,生産現場における '青島温州'の冬季 (12月) の根中デンプン含量と翌年の着花量との関係を調査 したところ,根中デンプン含量と翌年の葉花比との 間には負の相関関係がみられ,着花量の予測が可能 と考えられた.

## Development of Simple Nutritional Diagnosis Method and Studies of Annual Stable Bearing and Enrichment on Vigor of Citrus Tree

#### Summary

Changes in the mineral content of leaves of annual-bearing, farmed Satsuma Mandarin were monitored over an 11-year period. The relationship between alternate bearing and starch content in roots was investigated. Nitrate nitrogen concentration and starch content were analyzed using simple and rapid methods. Through an examination of the nutritional status of young citrus 'Shiranuhi' trees, the most effective nitrogen fertilizer application rate and soil amendments for optimal tree growth and fruit quality were determined. Starch content in roots of Satsuma Mandarin during winter was also investigated to forecast the degree of flowering.

## 1. Examination and measurement of alternate bearing based on nutritional status, in Satsuma Mandarin

The nutritional status of 'Aoshima Unshu' Satsuma Mandarin was monitored over an 11-year period in a representative orchard in Shizuoka Prefecture, Japan.

Nitrogen, phosphorus, and potassium contents in leaves varied between the diagnostic criteria for optimal plant nutrition (N : 28  $\sim$  33mg  $\cdot$  g<sup>-1</sup>, P :  $1.0 \sim 1.8 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}, \text{K} : 6 \sim 15 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  (Table 2). Calcium, magnesium, and zinc contents in leaves changed in the bottom of the diagnostic criteria (Ca : 30 mg  $\cdot$  g<sup>-1</sup>, Mg : 3.0 mg  $\cdot$  g<sup>-1</sup>, Zn : 30 mg  $\cdot$ Kg<sup>-1</sup>), and there was one year where the contents were lower than the diagnostic criteria (Table 2). Manganese content in leaves fluctuated between the diagnosis criteria (Table 2). From these results, fertilizers containing nitrogen, phosphoric acid, and potassium required a standard rate of application  $(N: 300 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}, P_2O_5: 120 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}, K_2O: 240)$ kg·ha<sup>-1</sup>), and an optimum application rate of dolomite was also required to ensure good soil conditions.

Negative correlations were found between

starch content in roots and fruit yield (Fig.1 and 2). Changes in annual starch contents in annualbearing orchards were small (Fig.2).

## 2. Determination of nutritional nitrogen in Satsuma Mandarin - nitrate nitrogen concentration in petiole juice

In order to determine nutritional nitrogen in Satsuma Mandarin simply and quickly in situ from the concentration of nitrate nitrogen in petiole juice, different sampling conditions were studied. The utility of a small and simple reflectometer (MERCK, RQflex analysis system) was also tested.

Nitrate nitrogen concentration in petiole juice of Satsuma Mandarin was approximately 11 to 17 times higher than that in leaf juice (Table 5). Because nitrate nitrogen concentration in petiole juice is a reflection of the rate of nitrogen fertilizer application, it was considered to be indicative of the nutritional status, and therefore could be used to determine the required fertilizer application rate. The best months for sampling and measuring petiole juice were July through September (Fig.4).

Negative correlations were found between the analysis date of nitrate nitrogen concentration using the reflectometer and the analysis date using the ion chromatograph (Fig.7). The nutritional status of Satsuma Mandarin in situ could be determined rapidly and simply with the reflectometer.

From these results, the following analysis was designed and carried out.

1) One gram of petioles was sampled from spring leaves that were picked during the period July to September (Fig.24 and 25). The petioles were sliced (Fig.26) and 19 mL of distilled water was added. Then, the petiole mixture was triturated in a mortar and pestle (Fig.27).

2) Nitrate nitrogen concentrations of samples were measured with the reflectometer (Fig.28 and 29).

## 3. Effect of nitrogen fertilizer application rates and soil amendments on tree growth, fruit quality, leaf mineral content and fine root growth of citrus 'Shiranuhi' trees

A study was carried out to determine the most effective nitrogen fertilizer application rate for optimal tree growth, fruit quality, leaf mineral content and fine root growth of the young citrus 'Shiranuhi' ['Kiyomi' (Citrus unshiu Marc.  $\times C$ . sinensis Osb.)  $\times$  C. reticulata Bla] trees over a period of four years (April 1999 to March 2003), which shows weak vigor. Fruit yield increased with increasing nitrogen fertilizer application rate up to twice the standard application rate (448 kgN·ha<sup>-1</sup> for 7-year-old trees) (Table 9). Fruit quality was also influenced by nitrogen fertilizer application rate (Table 10). An increase in application rate enhanced the peel percentage in 2001 and decreased the specific gravity in fruit in 2001 and 2003. The concentration of soluble solids (Brix) increased with increasing nitrogen fertilizer application rate in 2003, whereas the citric acid level in the fruit decreased with increasing nitrogen fertilizer application rate in 2002. Total nitrogen concentration in the leaves increased with increasing nitrogen fertilizer application rate up to twice the standard application rate (Fig.8 and Table 12). However, no further increase in leaf total nitrogen concentration was observed by increasing the rate to three times the standard rate (Fig.8). Lowering the nitrogen fertilizer application rate to half the standard rate resulted in leaf total nitrogen concentration that was below the diagnosis criteria for optimal plant nutrition (Table 12).

Effects of applying soil amendments and the rate of nitrogen fertilizer application on tree and fine root growth were surveyed in 'Shiranuhi' Soil amendments (bark manure, peat-moss, perlite) were applied to improve the physical condition of the soil and to increase the number of fine roots (Table 16 and 21). Excess supply of nitrogen suppressed fine root development. The effect of an excess supply of nitrogen was about twice as strong as those obtained from the application of soil amendments (Table 22). From this study, the optimal annual nitrogen fertilizer application rate for 7-year-old 'Shiranuhi' trees appears to be between 224 kgN·ha<sup>-1</sup> and 448 kgN·ha<sup>-1</sup>. Applications of soil amendments and the conventional amount of fertilizer were necessary to improve tree vigor and the number of fine roots.

## 4. Simple and rapid analysis of starch content in root and shoot of Satsuma Mandarin to determine nutritional status, by colorimetry

A simple analytical system with which starch contents in the roots and shoots of Satsuma Mandarin could be measured without using special chemicals or analytical equipment is indicated as follows.

- 1) Samples of roots and shoots were washed, dried at 80  $^\circ\!\mathrm{C}$  , and crushed.
- 2) Ten mL of distilled water was added to 0.10 g of crushed sample (Fig.31, 32, 33) and the mixture was boiled for 30 minutes, during which the starch component of the sample gelatinized (Fig.34).
- 3) The boiled mixture was filtered through filter paper to separate the dissolved starch from the sediment (Fig.35). The dissolved starch was put in a 50 mL measuring flask.
- 4) Three drops of 6 mol·L<sup>-1</sup> hydrochloric acid and 2 mL of 0.05 mol·L<sup>-1</sup> iodine solution were added to the sample in the measuring flask (Fig.36). Then, distilled water was added to the flask to the 50 mL mark.
- 5) The absorbance of the sample solution was measured spectrophotometrically at 660 nm (Fig.37).
- 6) Starch content of the sample was calculated from the absorbance of a calibration curve that was made from known concentrations of standard starch solutions (soluble potato) (Fig.12).

Using this simple analytical method, measurement time per sample was shortened from around 9 hours to 1 hour. Thus, it was possible to analyze more than one hundred samples per day.

## 5. Seasonal changes in starch content and forecasts of the amount of blossom based on the content of starch in the root of Satsuma Mandarin cv. 'Aoshima Unshu'trees .

Seasonal changes in the starch content of leaves, shoots and roots, and the photosynthetic rate of the alternate-bearing 'Aoshima Unshu' Satsuma mandarin from fall to spring were investigated. Offyear trees had higher starch levels in leaves, shoots and roots from fall to spring than on-year trees (Fig.17 and 18). Accumulations of starch in roots were observed earlier than in other organs. The starch content of the roots of off-year trees increased from November and the starch content of on-year trees increased from January in Shizuoka (Fig.19). The organs which showed the strongest concentrations of starch were the roots, and the months were November to February.

The photosynthetic activity of Satsuma mandarin was observed in winter (Table 25). This must indicate that photosynthesis by the leaves plays a role in the accumulation of starch in the roots in winter.

Relationships of negative correlation were found between the starch content of the roots in December and the numbers of flowers (number of leaves/ number of flowers) the following spring (Fig.22). These results show that the numbers of flowers can be forecast from the content of roots that were collected in the winter of the same season.

## 引用文献

- Dasberg, S. . 1987. Nitrogen fertilization in citrus orchards. Plant and Soil 100 : 1-9.
- 土壤標準分析・測定法委員会. 1986. 土壤標準分析・ 測定法. p.74-76. 博友社. 東京.
- 江本勇治・杉山和美. 2003. ウンシュウミカンの樹 体栄養測定法の確立とそれに基づく高品質安定 多収技術. 平成 14 年度果樹に関する試験成績 (栽培育種・栄養編). 静岡柑橘試. 120-121.
- 福井春雄・本山栄一・久保田収治. 1966. 瀬戸内ミ カン園の施肥合理化に関する研究(第2報)温 州ミカン樹幼木の器官別体内組成の周年的変化. 四国農試研報. 14:37-52.
- 福元將志. 2002. 施肥管理. p.265-291. 間苧谷 徹 著者代表. 新編 果樹園芸学. 化学工業日報社. 東京.
- Goldschmidt, E. E. and A. Golomb. 1982. The carbohydrate balance of alternate-bearing citrus trees and the significance of reserves for flowering and fruiting. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 107 : 206-208.
- 日野昭・天野勝司・沢村泰則・佐々木専治・倉岡唯 行. 1974. 果樹の光合成作用に関する研究(第 2法)光合成速度の季節的変化. 園学雑. 43: 209-214.
- 平山秀文・藤田賢輔・磯部 暁・重岡 開. 1996. 不知火の品種特性と生産安定技術の確立. 熊本 農研セ研報. 5:125-140.
- 広島県・広島県果実農業協同組合連合会. 1979. 果 樹栄養診断事業成績書. p.3-89
- 星保宜・額田光彦・加藤公道. 2002. モモ樹の樹体 栄養測定法の確立とそれに基づく高品質、安定生 産技術 炭水化物含有率の年間の推移及び樹勢 の強弱による差異. 平成 13 年度 落葉果樹試験 研究成績概要集(土壌肥料関係). 農業技術研究 機構果樹研究所. 105-106.
- 石原正義. 1982. 果樹の栄養生理. p.16-87. 農文協. 東京.
- 伊藤 治・岡野邦夫・黒岩美代子・戸塚績. 1983. 糖 分析計による植物葉中のグルコース、シューク ロース、デンプンの簡易測定法. 土肥誌. 54: 424-426.

- 伊東秀夫・藤田克治・大垣智昭. 1958 a. 温州蜜柑 の隔年結果防止に関する研究(第1報)花芽の 分化時期について. 園学雑. 27:14-20.
- 伊東秀夫・藤田克治・大垣智昭. 1958 b. 温州蜜柑 の隔年結果防止に関する研究(第2報)花芽の 分化感応時期について. 園学雑. 27: 29-35.
- 岩切 徹・松瀬政司・小野 忠. 1988. 果樹園にお ける有機物施用効果の解析. 第5報. 堆肥施用 ウンシュウミカン樹の根群分布. 佐賀果樹研報. 10:35-46.
- 岩間秀矩. 1996. パーライト. p.152-157. 農林水産 省農産園芸局農産課監修. 土壌改良と資材. 土 壌保全調査事業全国協議会. 東京.
- 加美 豊・井上久雄・藤原文孝. 1998. ハウス栽培 におけるカンキツ'不知火'の着果及び炭酸ガ ス施用が樹体生長に及ぼす影響. 園学雑. 67(別 2):193.
- 金子 衛・鈴木鉄男・田中 実. 1970. 温州ミカン の生育と結実ならびに土壌の化学性に及ぼす多 肥の影響. 愛知農総研 B. 園芸 2:1-10.
- 川野信寿. 1987. ハウスミカンの生産安定と品質向 上〔1〕. 農及園. 62:1393-1400.
- 河瀬憲次. 1999a. デコポン(不知火)の生い立ち. p.10-13. 河瀬憲次編著. デコポンをつくりこな す. 農文協. 東京.
- 河瀬憲次. 1999b. 根群の生育と樹勢強化対策. p.111-116. 河瀬憲次編著. デコポンをつくりこ なす. 農文協. 東京.
- 木原武士・小中原 実. 2000. ウンシュウミカンに おける隔年結果の現状と対策. 果樹試報. 34: 111-136.
- 北園邦弥・平山秀文・磯部 暁・河瀬憲次. 2000. カンキツの樹勢調節に関する研究(第1報)着 果負担及びコリン系化合物処理と根群の発達に ついて.熊本農研セ研報. 9:104-108.
- 古河 汎. 1972. 温州ミカン園における下層土の物 理性に関する研究. 四国農試報. 25:119-232.
- 久保田収治・福井春雄・本山栄一. 1966. 瀬戸内ミ カン園の施肥合理化に関する研究(第2報)温 州ミカン樹幼木の器官別体内組成の周年的変化. 四国農試報. 14:37-52.

- 鯨 幸和・橘 実・津田浩伸. 2003. 小型反射式光 度計を活用したウンシュウミカンの窒素葉面散 布要否判定. 平成 14 年度近畿中国四国農業研 究成果情報. 近中四農研セ. 145-146.
- 草場新之助・森永邦久・村松昇・島崎昌彦・星典宏. 2005.静電容量によるカンキツ根量の非破壊測 定法. 園学雑. 74 (別2). 333.
- 松瀬政司・岩切 徹・新堂高広・小野 忠・山口正洋. 1998. 水田転換園におけるカンキツ樹の長期三 要素試験第1報 高接ぎ更新された清見・伊予 柑の生育および果実生産. 佐賀果試研報. 14: 22-37.
- 松島健一. 1999. 酸の消長と総合的減酸対策. p.116-122. 河瀬憲次編著. デコポンをつくりこ なす. 農文協. 東京.
- 峯 浩昭・小田真男. 1984. 温州ミカン園における 表層及び下層土改良(第1報)オガクズ入り鶏 ふんの連用と深耕が根群分布に及ぼす影響. 大 分柑橘試研報. 2:51-68.
- 森 聡. 1990. 十万温州の着花と栄養成分との関係. 徳島果試研報. 18:1-10.
- 長野間宏. 1996. ゼオライト. p.135-144. 農林水産 省農産園芸局農産課監修. 土壌改良と資材. 土 壌保全調査事業全国協議会. 東京.
- 西田和男. 1982. 温州ミカンの根群分布と土壌の化 学性. 広島果試研報. 8:1-11.
- 農林水産省大臣官房統計部生産流通消費統計課編. 2007. 平成18年耕地及び作付面積統計. p.64-75.
- 農林水産省果樹試験場興津支場編. 1987. カンキツの調査方法. p.3.
- 農林水産省生産局園芸課編. 2007. 平成 17 年産特 産果樹生産動態等調査. p.37.
- 小笠原佐代市・中井 久・伊藤晴允. 1967. 温州みかんの施肥量に関する研究. 山口農試研報. 20: 55-60.
- 岡島量男・相川博志・長田芳郎・土田通彦・磯田隆晴. 1998. カンキツ'不知火'の施肥法. 熊本農研 セ研報. 7:77-87.
- 岡島量男. 1999. 施肥の時期・方法と施肥量. p.77-80. 河瀬憲次編著. デコポンをつくりこなす. 農文 協. 東京.
- 岡田正道・小中原実. 1985. ウンシュウミカンにお ける樹体養分と生産性との関係. 園学要旨. 昭 60春:38-39

- 岡田正道. 2004. ウンシュウミカンの生産性予測要 因としての樹体養分の有効性. 園学雑. 73: 163-170.
- 岡田長久. 1983. カンキツのリンおよびカリウムの 吸収に及ぼす施用窒素の影響. 静岡柑試研報. 19:29-40.
- 小野祐幸. 1985. ウンシュウミカンの光合成および 生産構造からみた収量構成要因に関する研究. 京都大学学位論文. p.1-41.
- 小野祐幸・岩垣 功・高原利雄. 1986. カンキツの 根群分布と葉の着生との関係. 果樹試報. D8: 25-36.
- 大垣智昭・藤田克治・伊東秀夫. 1963a. 温州ミカン の隔年結果に関する研究(第3報)温州ミカン 園の隔年結果状態、その収量構成、ならびに結 実と翌春の着花率、結果枝率について. 園学雑. 32:13-19.
- 大垣智昭・藤田克治・伊東秀夫. 1963b. 温州ミカン の隔年結果に関する研究(第4報)体内成分の 季節的変化について. 園学雑. 32:157-167.
- 大垣智昭・藤田克治・伊東秀夫. 1965. 温州ミカン の隔年結果に関する研究(第5報)摘花果およ び収穫時期と花成について. 園学雑. 34:1-8.
- 大垣智昭・藤田克治・伊東秀夫. 1966. 温州ミカン の隔年結果に関する研究(第6報)窒素,リン 酸および加里吸収量の季節的消長について. 園 学雑. 35:8-18.
- 大垣智昭・藤田克治・伊東秀夫. 1967. 温州ミカン の隔年結果に関する研究(第7報)秋冬期にお けるリン酸,カリ溶液,ならびに機械油乳剤の 葉面散布と花成. 園学雑. 36:161-169.
- 大西和彦・坂本辰馬・丹原一寛. 1972. カンキツ園 の肥料分の残留と根群の濃度障害. 園学四国支 部要旨. p.7.
- 大城晃・杉山和美・黒柳栄一・鈴木晴夫・岡田長久・ 井口功. 1989. ウンシュウミカンにおける着果 性の異なる樹の冬期の樹体内成分について. 園 学雑. 58 (別2):100-101.
- 大城晃・杉山泰之・片山晴喜・河村精・久田秀彦・ 岡田長久. 2000. ウンシュウミカンにおける冬 季根中でんぷんによる樹体栄養診断の開発. 土 肥誌. 71:259-262.
- 尾和尚人. 1996. 地力増進法指定資材. p.79-109. 農林水産省農産園芸局農産課監修. 土壌改良と 資材. 土壌保全調査事業全国協議会. 東京.

- 六本木和夫. 1991. 果菜類の栄養診断に関する研究 (第1報) 葉柄汁液の硝酸態窒素に基づくキュ ウリの窒素栄養診断. 埼玉園試研報. 18:1-15.
- 六本木和夫. 1992. 果菜類の栄養診断に関する研究 (第2報) 葉柄汁液の硝酸態窒素濃度に基づく イチゴの栄養診断. 埼玉園試研報. 19:19-29.
- 六本木和夫. 1993. 果菜類の栄養診断に関する研究 (第3報)葉柄汁液の硝酸態窒素濃度に基づく ナスの栄養診断. 埼玉園試研報. 20:19-26.
- 六本木和夫. 2007. リアルタイム診断と施肥管理. p.28-65. 農文協. 東京.
- 坂本辰馬・奥地 進. 1968. 温州ミカンの樹の生長. 果実の品質. 葉中の窒素含量に及ぼす窒素供給 時期の影響. 園学雑. 37:30-36.
- 坂本辰馬・奥地 進. 1969. 温州ミカン果実の酸. 可 溶性固形物に及ぼすチッソ栄養の影響. 園学雑. 38:300-308.
- 仙田太洋・高瀬輔久. 2002. 果樹の樹体栄養測定法 の確立とそれに基づく高品質、安定多収技術 前年枝のデンプン含有量と本年結果枝の生育・ 着果. 平成 13 年度 落葉果樹試験研究成績概 要集(土壤肥料関係). 農業技術研究機構果樹 研究所. 127-128.
- 清水達夫・鳥潟博高・鳥居鎮男. 1975. 温州ミカン の着果負担に関する研究(第3報)葉果比が収 穫期の樹体内炭水化物含量ならびに翌春の着果 数・新葉数に及ぼす影響. 園学雑. 43:423-429.
- 清水達夫・鳥潟博高・鳥居鎮男. 1976. 温州ミカン の着果負担に関する研究(第4報)着果樹と不 着果樹の物質生産過程について. 園学雑. 45: 123-134.
- 清水達夫・鳥潟博高・鳥居鎮男. 1978. 温州ミカン の着果負担に関する研究(第5報)着果樹と不 着果樹の炭水化物経済について. 園学雑. 46: 465-478.
- 静岡県・静岡県柑橘農業協同組合連合会. 1972. 柑 橘栄養診断事業成績書(昭和36~46年度、第1 次・第2次事業成績). p.138-145.
- 静岡県柑橘農業協同組合連合会. 1981. 柑橘品種系 統技術開発診断事業成績書. p.78-90.
- 静岡県農林水産部研究調整室編. 2002. 持続的農業 を推進する静岡県土壌肥料ハンドブック. p.298-299.

- 菅井晴雄・中山幹朗・角田秀孝・門田 穣・土方久恒. 1983. ハッサクの窒素施肥に関する研究. 和歌 山果試研報. 7:21-37.
- 杉山和美・久田秀彦・岡田長久・鈴木晴夫. 1992. ウンシュウミカンの隔年結果と貯蔵養分に関す る研究(第1報)青島温州幼木における冬季 の炭水化物および窒素化合物の形態・存在部位. 静岡柑橘試研報. 24:61-70.
- 杉山和美・久田秀彦・岡田長久・鈴木晴夫. 1999. ウンシュウミカンの隔年結果と貯蔵養分に関す る研究(第2報)異なる栄養状態における青島 温州の樹体内炭水化物及び冬季貯蔵養分. 静岡 柑橘試研報. 28:1-9.
- 杉山泰之・大城 晃. 1999. 温州ミカンの根中および枝中デンプンの簡易測定法(第1報)屈折糖度計,ヨウ素デンプン反応、F-キットスターチの利用による測定法.静岡柑橘試研報.28:11-18.
- 杉山泰之・大城晃・浜崎櫻・澤野郁夫. 2001. 着果 量と台木の異なる '青島温州'の部位別デンプ ン含有率および葉中無機成分含有率の時期変化. 園学雑. 70 (別 2). 244.
- 杉山泰之・江本勇治・濵崎櫻・杉山和美・中村ゆり・ 増田欣也・梅宮善章. 2003a. 15Nトレーサー 法による中晩柑類 'はるみ'と '不知火'の施肥 窒素吸収・移行特性. 園学雑. 72 (別 2). 310.
- 杉山泰之・久松 奨. 2003b. 'はるみ'と'不知火' における着果量と摘果時期が根中デンプン含有 率に及ぼす影響. 平成14年度果樹に関する試験 成績書(栽培育種・栄養編). 静岡柑橘試. 96-97.
- Smith. P. F. 1966. Citrus nutrition and leaf analysis of citrus. p. 174-228. Fruit Nutrition. New Brunswick. N. J.
- 高橋禮治. 1996. でん粉製品の知識. p. 35-91. 幸書房. 東京.
- 高原利雄. 1999. 品種特性とつくりこなしの着眼点. p.14-2 7. 河瀬憲次編著. デコポンをつくりこ なす. 農文協. 東京.
- 高辻豊二・大塚和男・林田至人. 1986. 温州ミカン に対する窒素施肥法に関する試験 第10報 窒 素施用量が落葉および収量に及ぼす影響. 九農 研. 48:137.
- 高辻豊二. 1987. 施肥と土壌管理. p.139-154. 農業 技術大系 果樹1カンキツ. 農文協. 東京

- 瀧勝俊. 2000. 葉柄汁液によるイチジクのリアルタ イム栄養診断. 愛知農総試研報. 32. 141-147.
- 建部雅子・細田洋一・笠原賢明・唐澤敏彦. 2001. バレイショの葉柄汁液を用いた栄養診断. 土肥 誌. 72:33-40.
- 富田栄一. 1971. 温州ミカンの果実の品質および開 花に及ぼす夏季の水分と窒素施用の影響. 園学 雑. 40:225-229.
- 鳥潟博高・原 幹博・鳥居鎮男・榊原孝平. 1974a. 温州ミカンの着果負担に関する研究(第1報) 葉および茎の浸透価,溶質比,可溶性固形物含 量,含水量などの日および季節的変化について. 園学雑. 43:15-23.
- 鳥潟博高・原 幹博・森 哲治・大川勝徳. 1974b. 温州ミカンの着果負担に関する研究(第2報) 浸透価,可溶性固形物含量,含水量の相互間の 相関関係および組織粉末比重の季節変化につい て. 園学雑. 43:115-124.
- 和歌山県. 1969. 果樹栄養診断事業成績書 昭和 43 年度. p. 26-139.
- 山崎隆生. 1987. ミカン園土壌の養水分収支に関す る研究 第2報 地質母材・施肥量及び土壌管 理法の違いが果実の収量及び品質に及ぼす影響. 広島果試研報. 12:39-46.
- 山崎浩道. 1998. 塩類集積と根. p. 242-244. 根の 辞典編集委員会編. 根の辞典. 朝倉書店. 東京.
- 山田良三・加藤利博・井戸豊・関稔・早川岩夫. 1995. リアルタイム土壌・栄養診断に基づくトマトの 効率的肥培管理(第1報)葉柄汁液の硝酸濃度 に基づく診断基準の作成. 愛知農総試研報. 27:205-211.
- 山内 章. 1996. 林木の根系. p. 90. 山内章編. 植 物根系の理想型. 博友社. 東京.
- 湯田英二. 1970. 静岡県の酸性土壌における温州ミ カンの生育障害. 静岡大農園研報. 3:1-84.

〒438-0803 静岡県磐田市富丘 678 の1 電話(0538) 35-7211 (代)

静岡県農林技術研究所

本 所

	総 生 産	務 環 境	課 部	企 画 経 新品種開	営 部 発部	栽 疖	伐 培 技 病害虫际	術 部 方除所	
茶 業 研	究 セ	ンタ	<u> </u>	〒439−000	2 菊	川市倉 電話	沢 1706 (0548)	5の11 27-2311	
果樹研	究 セ	ンタ	:	〒424-090	)5 静	·岡市清 電話	水区駒 (054)	越西 2 丁目 334-4850	12-10
伊豆農業	《研究	センタ	7 :	〒413-041	1 賀	茂郡東 電話	伊豆町 (0557)	稲取 3012 95-2341	
森林・林美	業研究	センタ	7 =	〒434-001	6 浜	松市浜: 電話	北区根 (053)	堅 2542-8 583 <b>-</b> 3121	

	平成 21 年 9 月 10 日 印刷 平成 21 年 9 月 10 日 発行	
<b>⊤</b> 438-	·0803 静岡県磐田市富丘 678 の 1	
編集兼 発行者	静岡県農林技術研究所 電話(0538) 35-7211	
印刷所	住所 袋井市新屋4丁目5-2 名称 松本印刷株式会社 袋井営業所 電話 (0538) 43-6300	