

# カンキツ園からの窒素肥料の負荷評価と低減技術の開発<sup>†</sup>

吉川公規<sup>1)</sup>・中村明弘<sup>2)</sup>・竹川幸子<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> 農林技術研究所本所, <sup>2)</sup> 西部農林事務所

## Environmental Assessment and Development of Load Decreasing Technology from Citrus Orchards

Kiminori Yoshikawa<sup>1)</sup>, Akihiro Nakamura<sup>2)</sup> and Sachiko Takegawa<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Shizuoka Res. Inst. of Agric. and For., <sup>2)</sup> Seibu Agri. and Forest. Office

### Abstract

Fruit tree orchards, especially Citrus orchards, were evaluated for their influence on the environment around Lake Sanaru, and the cultivation techniques able to decrease the environmental load. First of all, the past amount of environmental load on Lake Sanaru from the actual fertilizer use in citrus orchards from 1935 to 2005 was estimated. The orchard area and the amount of applied nutrients as citrus evaluated the environmental load. The loading dose around 1965 was large. The amount of nitrogen load was about 125 t over 71 years. To improve the fertilizer efficiency and to attempt a reduction, the method of using the fertilizer efficacy controlled type fertilizer was examined. Even if 29% of the amount of nitrogen was decreased from the normal fertilizer level, the yield and the fruit quality of 'Siranui' that typically used a coating type fertilizer was thought to show no differences. Also, using a coating type fertilizer it was possible to decrease the fertilizer application frequency.

### I 緒 言

浜松市内にある佐鳴湖は、湖水の COD 値が全国ワーストワンを平成 15 年度から 19 年度まで 5 年継続しており、ワーストワンを脱却する効果的な浄化対策が求められている。浜松市が行った調査<sup>18)</sup>では、農業をはじめとする土地系からの面源負荷が大きいことが報告されており、農業に対して窒素等の肥料成分による環境負荷の低減が求められている。特に、佐鳴湖の水質は 1970 年代には著しく悪化しており、現在の負荷だけでなく、流域の農業活動が活発に行われていた過去の負荷状況も把握する必要がある。カンキツ栽培でも肥料資材の多投入が行われた時期があり、栽培土壌の劣化だけでなく、環境への

負荷の増加が起こっていることが報告されている<sup>5)</sup>。浜松市を中心とする県西部地域は古くからカンキツ栽培が盛んな地域であり、佐鳴湖周辺でもカンキツ栽培が営まれてきたことから、カンキツ栽培における過去の施肥による窒素負荷の状況を明らかにすることが必要である。また、カンキツは品種や栽培方法により施肥量が異なるが、近年導入が増えているカンキツの新品種は樹勢が低下しやすいことから、窒素施用量が多くなりやすい。

そこで、カンキツ園からの窒素負荷量を推定するとともに、窒素施用量を減らし、窒素負荷を低減できる施肥法を検討したので報告する。

<sup>†</sup> 本報告の一部は、平成 19 年度日本土壌肥科学会中部支部大会（2007 年 11 月 8 日）で発表した。

## II 材料及び方法

### 1. カンキツ園からの窒素負荷量の推定

調査地域は、佐鳴湖上流域にあたる旧浜名郡富塚村、三方原村、入野村（いずれも1935年当時）を一部流域外も含まれるが対象とした。佐鳴湖の水質に影響のある流域としては、流出河川の満潮時の逆流の影響で下流域も含まれるが、ここでは対象外とした。カンキツの栽培面積は、1935年から2005年までを調査対象とした。1935年は「静岡県の柑橘」<sup>11)</sup>、2003年は浜松市の調査<sup>18)</sup>を用いた。2005年は流域の一筆調査を行った。なお、1935年～1950年は、第二次世界大戦の影響等による増減があったと考えられるが、1935年と同じ面積とした。また、1950年～2000年は、佐鳴湖流域だけを抽出できる数値がないことから、農林統計年報<sup>12)</sup>の旧浜名郡の栽培面積から佐鳴湖流域の栽培面積を推定した。

肥料による窒素施用量は、ウンシュウミカンの比率が高いことから、栄養診断事業等で過去に実施したウンシュウミカン実態調査の値を用い、実態調査の未調査年次は前後の施用量から補間推定した。栄養診断事業の調査が始まる1959年より以前は、「静岡県の柑橘」<sup>19)</sup>および「柑橘」<sup>20)21)</sup>に記載された施肥基準量を用いた。

流域の窒素投入量は、単位面積当たりの窒素施用量に面積を乗じて推定した。窒素吸収量は、Hiraoka and Umemiya<sup>17)</sup>の単位面積あたりの吸収量を用い、面積を乗じて流域の吸収量を算出した。窒素投入量から吸収量と窒素揮散量を差し引いた値を、上流負荷量として算出した。窒素揮散量は日本国温室効果ガスインベントリ報告書<sup>16)</sup>から、窒素投入量の0.62%とした。

### 2. 肥料資材による施肥削減技術

環境負荷を軽減する施肥方法として、肥効調節型肥料を用いた施肥を検討した。品種は、窒素施用量が多い‘不知火’<sup>7)</sup>を供試した。樹齢は12年生（2006年）で、灰色台地土を充填した面積6.25m<sup>2</sup>、深さ75cmの無底の六角コンクリート枠内に各1樹植栽された16樹を用いた。試験区は、肥効調節型肥料を用い窒素施用量27kg/10aの被覆27N区と窒素施用量19kg/10aの被覆19N区、有機配合肥料を用い窒素施用量が38kg/10aの配合38N区と窒素施用量28kg/10aの配合28N区の4区を設けた。被覆27N区と被覆19N区は、春肥に肥効調節型肥料を、秋肥に有機配合肥料を使用し、年2回施肥とした。肥効調節型肥料は、地温25℃における80%溶出期間が40日、100日、140日および180日の4溶出タイプの被覆燐硝安加里肥料を使用し、混合割合を40日タイプ20%、100

日タイプ10%、140日タイプ25%、180日タイプ45%として、配合38N区の春から夏の窒素溶出パターンに近似させた。配合38N区と配合28N区は、4種類の有機配合肥料（有機率40～66%）を用い年7回施用とした。なお、配合38N区は平成16年度JAしみずの慣行施肥基準である。

果実品質と収量は、2005年～2007年の3年間調査し、果実の収穫は1月下旬または2月上旬に行い、果実数、果実重量、果実糖度、果実酸度を測定した。葉中窒素含有率は、各年とも8月及び12月（2005年のみ11月）に春葉を採取し洗浄乾燥後粉碎し、NCアナライザー（住化製NC-22F）で分析した。樹冠容積は、樹高と樹冠径の東西方向及び南北方向を計測し、樹冠東西径×樹冠南北径×樹高×0.7で算出した。土壌は、2006年8月に深さ10cmから採土し風乾篩別後、pHとEC、交換性塩基含量を測定した。交換性塩基含量は原子吸光法で測定した。

## III 結 果

### 1. カンキツ園からの窒素負荷量の推定

浜名郡におけるカンキツの栽培面積は、1960年代に急増し、1970年頃が最も大きく、その後減少した。このため、浜名郡の栽培面積から算出した佐鳴湖流域のカンキツ栽培の推定面積は、1970年には50ha以上となり、1935年の5倍以上に増加したと推定したが、佐鳴湖の流域面積1730haの3%に満たない面積であった（図1）。その後、面積は減少し、浜松市の調査や本研究の一筆調査の面積は、約12haと70年前の同程度の面積であった。栄養診断事業等において実態調査した単位面積当たりの窒素施用量は、1960年頃が最も多く、1980年代が少なかった。推定した流域の窒素投入量は、1960～1970年前後にかけて急増し、その後は減少した（図2）。吸収量も投入量と同じ傾向がみられたが、最も大きな値となったのは、1970年前後であった。

上流負荷量は、1955年頃まではほとんど0の状態であったが、その後急増し1965年が13tNと最も大きな値となった。その後の減少も著しく1974年では負荷量0と推定された。その後も年間2tN以下であった（図3）。年次毎の上流負荷量を1935年から2005年まで積算すると、71年間では約125tNと推定できた。

### 2. 肥料資材による施肥削減技術

樹体の生育状況は、被覆27N区では生育割合が大きく、被覆19N区ではやや劣る傾向がみられた（表1）。着果数や平均果重は、試験区による違いは認められなかった

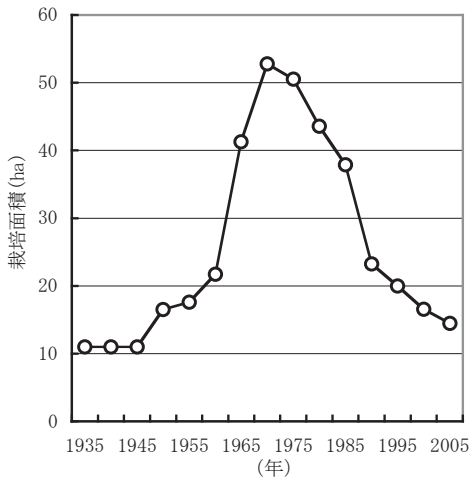


図1 浜名郡の栽培面積から推定した佐鳴湖周辺のカンキツ栽培面積の推移

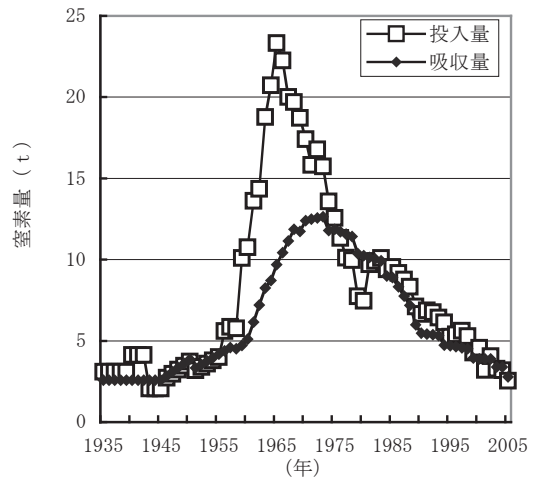


図2 佐鳴湖周辺のカンキツ栽培における年次別の窒素投入量と吸収量(1935-2005年)

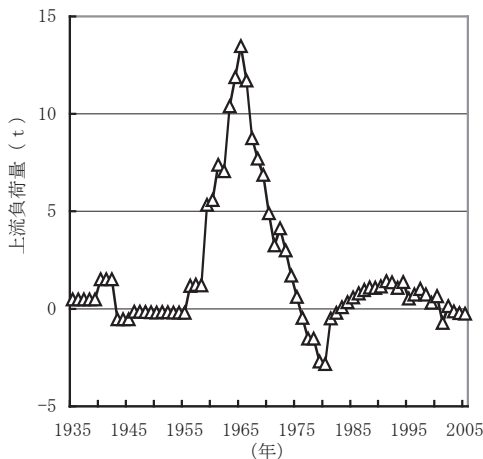


図3 佐鳴湖周辺カンキツ園の窒素肥料による年次毎の上流負荷量の推移(1935-2005年)

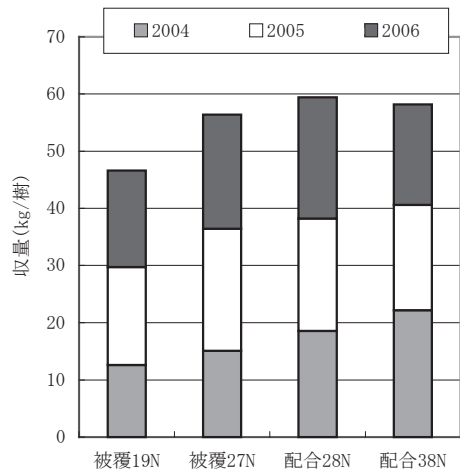


図4 肥料資材や窒素量の違いが‘不知火’の収量に及ぼす影響

が、被覆19N区の着果数が毎年少ない傾向であった(表2)。樹当たり収量は、被覆19N区が毎年少ない傾向であったが、被覆27N区は配合38N区や配合28N区との違いがみられなかった(図4)。果実品質では、果実糖度は処理による違いがみられなかった。酸は配合38N区がやや低い傾向であった(表3)。

葉中成分では、被覆27N区の葉中窒素含有率が、2004年にやや低い傾向がみられたものの、2006年は適量域で、調査期間内の変動も小さかった。被覆19N区では2004年と2005年は低い値であった(図5)。

土壌pHは、被覆27N区が低い傾向がみられた。ECは、配合38N区が高く、被覆19N区が低かった。交換性カルシウムは被覆27N区がやや低かった(表4)。

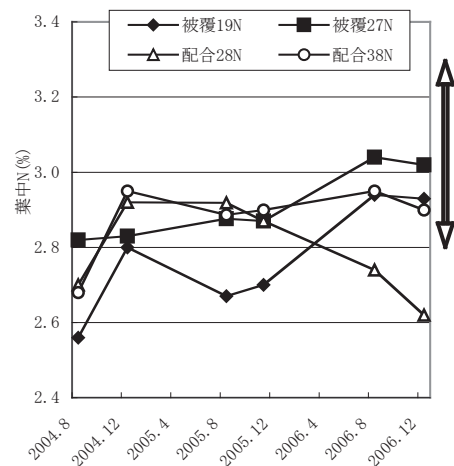


図5 肥料資材や窒素施肥量の違いによる‘不知火’の葉中窒素含有率の推移  
注) 図中の矢印はウンシュウミカンの適量域(2.8-3.3%)

表1 被覆肥料を用いた施肥削減が樹体生育に及ぼす影響

処理区	樹容積 (m <sup>3</sup> )		生育割合 z
	2004.7	2006.1	
被覆 19N	9.2	9.8	106
被覆 27N	9.5	11.6	123
配合 28N	8.4	9.7	116
配合 38N	12.2	13.2	108

z : 生育割合は、2004年7月を100とした時の2006年1月の値.

表2 被覆肥料を用いた施肥削減が‘不知火’の着果数や平均果重に及ぼす影響

処理区	着果数 (個/樹)				平均果重 (g)			
	2004年	2005年	2006年	合計	2004年	2005年	2006年	平均
被覆 19N	42	66	67	175	300	259	252	266
被覆 27N	59	82	84	225	256	260	238	251
配合 28N	76	78	86	240	245	251	247	248
配合 38N	82	71	76	229	271	259	232	254

表3 被覆肥料を用いた施肥削減が‘不知火’の果実品質に及ぼす影響

処理区	糖度 (Brix)			酸含量 (%)		
	2004年	2005年	2006年	2004年	2005年	2006年
被覆 19N	13.8	13.6	13.6	1.26	1.20	1.20
被覆 27N	13.8	14.1	14.1	1.28	1.24	1.24
配合 28N	14.0	14.1	14.1	1.34	1.22	1.22
配合 38N	13.8	14.0	14.0	1.17	1.10	1.10
分散分析 <sup>z</sup>	ns	ns	ns	*	ns	ns

z : \*は危険率5%で有意差有り, nsは有意差なし.

表4 肥効調節型肥料の連年使用が不知火栽培ほ場の土壌に及ぼす影響 (2006年8月)

処理区	pH	EC	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Mg/K	Ca/Mg
	H <sub>2</sub> O	mS/m	mg/100g乾土				
被覆 19N	5.7	0.08 b <sup>y</sup>	76	151	36	1.1	3.0
被覆 27N	5.2	0.12 ab	44	111	25	1.3	3.2
配合 28N	5.5	0.13 ab	82	163	35	1.0	3.4
配合 38N	5.5	0.15 a	80	174	39	1.1	3.2
分散分析 <sup>z</sup>	△	*	ns	△	ns		

z : \*は危険率5%, △は10%で有意差有り. nsは有意差なし.

y : Tukeyの多重検定により表中のアルファベットは同符号間に有意差なし.

## IV 考 察

### 1. カンキツ園からの窒素負荷量の推定

佐鳴湖流域のカンキツ園の肥料に由来する窒素負荷は、1965年では年間約13tと大きい、1960年以前及び1970年以降は負荷が小さかった。過去71年間分を積算しても窒素負荷量約125tと、平均して年間約2tと考えられた。浜松市が推定した佐鳴湖上流域の2001年における全ての発生源の年間窒素負荷量約130tと比較すれば、かなり小さな値であった。

永年作物であるカンキツの窒素吸収量は、岩本<sup>2)</sup>や長崎果試<sup>15)</sup>など普通温州における調査事例があるが、樹齢や収量により異なり、土壌や気象等による影響も大きい。佐鳴湖流域における品種毎の面積推移が把握できないことから、ウンシュウミカン全般を対象として品種や土壌、収量などを広く含めて取りまとめられたHiraoka and Umemiya<sup>17)</sup>の235kgN・ha<sup>-1</sup>を用いた。流域の経年変化を評価する場合には妥当と考えたが、今後は細密な調査による評価も必要である。

施肥量は、1950年代以前は施肥基準を、栄養診断事業等<sup>8)9)10)</sup>が行われた期間はその調査数値を用いた。浜松市の調査<sup>18)</sup>にみられるように、推定には県の施肥基準が用いられることが多い。1960年代のように増産意欲が旺盛な時期は、実際の窒素施用量が施肥基準の300kgN・ha<sup>-1</sup>より200kgN・ha<sup>-1</sup>以上も多い事例もみられた。1980年頃は逆に施肥基準より100kgN・ha<sup>-1</sup>以上少なくとも、時期により施肥基準と実態の乖離が著しかった。調査数値を用いることにより、推定値を実態に近づけることができたと考えられた。また、本調査では堆肥等の有機物からの窒素量は算入していないが、高品質安定生産モデル園の調査では、県下全体に有機物の施用も少なく、窒素負荷への影響は小さいと考えられた。栽培面積は、旧浜名郡全体の栽培面積から推定したが、佐鳴湖流域は浜松市街地に近く、宅地開発が行われるようになった時期も早いことから、栽培面積をやや過大に評価している可能性がある。また、今回カンキツ以外の果樹については検討していない。2006年の一筆調査では、ウメやクリの面積が大きかった。これらの樹種は窒素負荷量が少ない<sup>4)</sup>ものの、果樹園全体からの窒素負荷量を推定するには検討に含めることが必要と考えられた。

### 2. 肥料資材による施肥削減技術

肥効を高め施肥量を削減する資材としては、肥料表面を樹脂等で被覆し、肥料成分の溶出を調整できる被覆肥料が野菜や落葉果樹で利用されている。カンキツでの利

用は、‘宮内イヨ’（石川ら）<sup>1)</sup>などで検討されている。

本研究では‘不知火’を対象に、被覆肥料を用いた施肥法を検討した結果、3年間の試験期間では収量や品質に遜色なく、JAの慣行栽培の窒素量よりも30%近く減らした270kgN・ha<sup>-1</sup>でも可能と考えられた。

‘不知火’の窒素施肥量に関して、岡島ら<sup>5)</sup>は321kgN・ha<sup>-1</sup>では樹体生育が悪く、杉山ら<sup>14)</sup>は7年生の幼木では、窒素の適正施肥量が224～448kgN・ha<sup>-1</sup>の範囲にあると報告している。今回の試験では樹体の生育は、380kgN・ha<sup>-1</sup>の配合38N区でも生育上の問題はみられなかった。葉中窒素含有率は、被覆肥料を用いた270kgN・ha<sup>-1</sup>と慣行の有機配合肥料を用いた380kgN・ha<sup>-1</sup>では、おおむね適量域で推移した。灰色台地土は、地力窒素が少ない土壌と考えられることから、黒ボク土や有機物連用土壌等の地力窒素の発現しやすい土壌では、施肥量を更に減らすことも可能と考えられた。

果実品質については、杉山ら<sup>13)</sup>は施肥量が多いと糖度と酸含量が高くなると報告しているが、岡島ら<sup>5)</sup>は施肥量が多いと糖度が減少し酸含量が増加すると報告している。試験期間の酸含量は、慣行38N区より減肥した各区がやや高くなった年もみられたが、糖度と酸含量のいずれも処理による有意な違いは認められなかった。このため、果実品質においても、減肥した270kgN・ha<sup>-1</sup>でも被覆肥料を用いた今回の施肥方法であれば、問題ないと考えられた。

土壌の状態としては、窒素施用量の減少に応じて土壌ECがやや低下する傾向がみられた。土壌pHや交換性カルシウムに一部見られた違いは、施肥前の土壌の不均一性によるものと考えられた。被覆肥料は施用時に土壌と混和されることが多いが、今回は地表面に撒布した。溶出時期や速度への影響が懸念されたが、その影響は認められなかった。今回の試験は降雨による表面流去が起こらないコンクリート枠内で行った影響もあったと考えられることから、実際に現地に応用するためには、施用方法に注意する必要があると思われた。

被覆肥料を用いた施肥方法は、年2回の施肥回数で栽培可能と考えられたことから、慣行栽培の年7回に対して、大幅な省力化も可能であると考えられた。

### 3. 環境へのカンキツ園の負荷と寄与

カンキツ園の佐鳴湖への窒素負荷量は、栽培面積が増加し面積当たりの窒素施用量も多かった1965年前後には年間10t以上あったと考えられるが、現状は極めて少ないと考えられる。また、負荷量が多かった時期においても、流域の負荷量全体に占めるカンキツ園の割合は小さかったと考えられる。今後、‘不知火’のような施肥



量の多い新品種が導入された場合でも、本試験で検討した肥効調節型肥料を用いることにより、窒素負荷量の増加は抑制することが可能であると考えられる。慣行のウンシュウミカン栽培では、土壌に施用した窒素の利用率を100%にはできないことから、施肥基準どおりの施肥を行っても窒素負荷が発生する。ウンシュウミカンは栽培面積が大きいことから、今後は肥効調節型肥料のように利用率が高い肥料を使用することが望ましいと考えられた。

今回の研究ではカンキツ園から湖沼等の周辺環境への窒素負荷のみを検討したが、カンキツ園をはじめとする農地を評価する際には多様な環境保全効果を考慮する必要がある。効果としては、降雨の地下浸透による地下水涵養効果や緑地としての都市周辺環境の快適化などが考えられる。佐鳴湖流域のような都市近郊においては、農地の果たす役割は重要と考えられる。そのため、環境負荷の小さい肥培管理法を普及させ、佐鳴湖流域のカンキツ園を維持することは、環境の保全や改善だけでなく、流域の生活環境の快適化にも繋がることであると考えられる。今後、本研究で開発した技術の適応範囲を広げるとともに、現場への技術普及を図ることが重要であると考えられる。

## V 摘 要

カンキツ栽培が、佐鳴湖周辺の環境へ与える影響を評価するとともに、環境への負荷を低減できる施肥技術を開発した。カンキツ園に由来する過去の窒素負荷量の推定を行った。佐鳴湖上流域を対象とし、1935年から2005年までの栽培面積と施肥実態調査から環境負荷量の変化を推定した。カンキツ園に施用される肥料からの窒素負荷を評価すると、1965年前後の窒素負荷量は、年間10t以上と推定された年もあり、佐鳴湖の環境への影響があったと考えられた。しかし、1955年以前や1970年代後半以降の窒素負荷は低かったことから、カンキツ園からの71年間の窒素負荷積算は約125tと、2003年の上流域全体の負荷量の1年分よりも少なく、佐鳴湖の富栄養化に対する影響は小さかったと考えられた。

施肥効率を高めて施肥量削減を図るため、肥効調節型肥料を用いた施肥方法を検討した。肥効調節型肥料として被覆肥料を用いた‘不知火’の施肥は、窒素量を慣行より29%減らしても、収量や果実品質等に差がなく、被覆肥料を用いることで施肥量削減と施肥回数を減らした栽培が可能と考えられた。

## 引用文献

- 1) 石川啓, 野中稔, 藤井栄一 (2002): 肥効調節型肥料による‘宮内イヨ’の施肥効率向上に関する研究. 愛媛果樹試研報, 15, p21-34.
- 2) 岩本数人 (1970): ウンシュウミカンの養分吸収量と施肥量の算定, 農業および園芸 45(4):p641-644, 養賢堂, 東京.
- 3) 岩本数人 (1982): カンキツ園の土壌管理と施肥技術, 「果樹園の土壌管理と施肥技術」(千葉勉編), p47-79, 博友社, 東京.
- 4) 梅宮善章 (2001): 果樹類の省力・環境保全型施肥管理, 安田環編, 環境保全と新しい施肥技術, 養賢堂, 東京, 238-274.
- 5) 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.
- 6) 駒村研三 (1990): 農業資材多投に伴う作物栄養学的諸問題 2 果樹等における要素過剰の実態, 土肥学誌 61, vol. 2, 202-208.
- 7) 静岡県 (2005): 果樹, 持続的農業を推進する静岡県土壌肥料ハンドブック, 167-203.
- 8) 静岡県・静岡県柑橘農業協同組合連合会 (1961～1971): 柑橘栄養診断事業成績書.
- 9) 静岡県柑橘試験場 (1997, 2002, 2006): 柑橘高品質安定生産モデル園調査成績書.
- 10) 静岡県柑橘農業協同組合連合会 (1973～1980): 柑橘品種系統技術開発診断事業成績書.
- 11) 静岡県統計課 (1936): 静岡懸の柑橘, 静岡県.
- 12) 静岡統計調査事務所 (1960-2005): 静岡農林水産統計年報.
- 13) 杉山泰之・江本勇治・大城晃 (2006): 中晩生カンキツ‘不知火’の樹体生育と果実品質ならびに細根量に及ぼす土壌改良資材と窒素施肥量の影響 園学研 5, 247-253.
- 14) 杉山泰之・江本勇治・濱崎櫻・鈴木晴夫・大城晃 (2008): 窒素施肥量の違いがカンキツ‘不知火’幼木の樹体生育・果実品質および葉中無機成分含有率に及ぼす影響, 園学研 7, vol. 2, 203-208.
- 15) 長崎県果樹試験場 (1997): 九州地域におけるカンキツの合理的な施肥法の確立に関する試験. 指定試験(土壌肥料), 37, 1-92.
- 16) 温室効果ガスインベントリオフィス (2008): 日本国温室効果ガスインベントリ報告書,

- (6-18)-(6-42).
- 17) Hiraoka, K. and Umemiya, Y (2000) : Estimation of balance of nitrogen, phosphorous and potassium in relation to chemical fertilizer application in Japanese orchard fields. JARQ. 34, 87-92.
- 18) 浜松市, 国際航業株式会社 (2004) 畑地施肥量削減効果等調査事業概要報告書 (平成 15 年度分)
- 19) 藤田克治 (1936) : 柑橘肥料成分の分施効果, 静岡懸  
の柑橘 3(3), 16-18.
- 20) 三浦英雄 (1960) : 静岡県柑橘施肥基準改正と理由, 柑橘, 12(10), 42-45.
- 21) 山岡照平 (1960) : 柑橘と春肥の効用, 柑橘, 12(2), 42-45.
- 22) 吉川公規, 高橋哲也 (2005) : 草生栽培によるカンキツ園の土壌および窒素施肥の流亡抑制効果, 静岡柑試研報 34, 7-13.