

## 水田転換園におけるカンキツ樹の長期間三要素試験

第2報. 三要素区, 無カリウム区と無肥料区における土壌中のカリウムの形態と含量

岩切 徹・松瀬政司・新堂高広\*・山口正洋\*\*

キーワード: カリウム, 三要素, 土壌診断, ウンシュウミカン, カンキツ

Effects of Long-Term Application of Three Major Nutrients on the Citrus Trees  
Growing in the Orchard Converted from a Paddy Field

2. On the Soil Potassium Content and Forms of the NPK Fertilizers Application,  
Non-K and Non-Fertilier Application

Tetsu IWAKIRI, Masashi MATSUSE,  
Takahiro SINDOU, Masahiro YAMAGUCHI

### ABSTRACT

This experimental field changed paddy field in orchard, and it made three major nutrients, NPK elements fertilizer response test which extended for, long term. Contents of this report analyzed it about a forms and a content of potassium in the soil of NPK-fertilizers application plot, non-K plot, non-fertilizers application plot in an eye after, examination start for 18 years and 23 years and made correlation with the potassium density from between method of fertilizers application and a leaves of citrus trees.

There was the most water-soluble potassium, exchangeable potassium, available potassium in the soil with three major nutrients, NPK plot, and there was a most little non-K plot. As for the ratio of slightly soluble potassium in available potassium, there was the most, non-K plot. There was significant difference of 5% or more correlation with water-soluble potassium, any sample collection of depth as a result of having examined soil sample and correlation with potassium content in the soil during a leaves of citrus trees. The coefficient of correlation to be the highest fitted exchangeable potassium content of the soil of, 0-10cm between things of potassium density during a leaves of satsuma mandarin with  $r=0.906$  (1% significant difference).  $0.5 \text{ cmol}(+)\text{kg}^{-1}$  is necessary for the bottom value of exchangeable potassium of soil diagnosis of, citrus trees when calculates from primary regressive equation of this neither.

**Key word:** potassium, three major elements, satsuma mandarin, soil diagnosis

## 結 言

ウンシュウミカンの施肥量は高橋（1936）が全樹解体法で吸収された養分を分析し、年間の必要施肥量を推定したのが最初であり、浅見（1951）が高橋のデータを利用して小麦の肥料成分利用率を参考に実態に即したものに補正した。各県のリンサンおよびカリウムの施肥基準量は、現在でもこれらを参考に窒素成分のおおよそ6割および8割に設定されている。本試験を開始した当時は果実の需要に生産が追いつかない情勢であり、栽培面積の拡大が計画され盛んに水田をミカン園に転換し、かつ、施肥の実態は多収を目指して県の基準施肥量より多かった（佐賀県総合開発計画書、1961）。この積年の施肥過剰の結果は、土壤の酸性化によるマンガンの異常吸収害や枝枯れ症、果実品質の劣化が顕在化し、施肥合理化の必要に迫られていた。一方、1968年にミカン価格が最初に暴落して、多収から果実品質の向上を目指した施肥の合理化が強く迫られた。

この時代の施肥合理化の一環としてウンシュウミカンに対するカリウム肥料にかかわる試験は、長谷・石原（1972）と高辻・石原（1980）のポット試験があり、いずれもカリウムの無施用により何らかのカリウム欠乏症徴の発生を認めている。しかしながら、圃場試験で実施された坂本・奥地（1963）の試験では、果実形質には若干のカリウム欠除の影響を認めながら、生育や収量には何らの影響がなかったと報告している。さらに、松本ら（1979）と佐藤ら（1987）の圃場試験ではカリウム肥料の削除がカリウム欠乏症の発生はもとより、ミカンの生育やカリウム栄養ならびに果実生産になんらの影響も認めていない。

本試験は1965年に場内の水田を転換し、1年生の松田温州苗を定植すると同時に三要素試験を開始した圃場である。着果開始後の数年間は、無カリウム区のカミカンの枝葉に欠乏症徴は発生しなかったが、葉中のカリウム濃度が低下し、果実が小玉となり着色が悪く、果皮色の紅が低下し、果汁中の酸が低下し、果実の貯蔵性が劣化した（岩切ら、未発表）。1980年に高接ぎ更新し、着果が始まると無カリウム区の宮内伊予柑はウンシュウミカンと全く反応が異なり、枝葉に明瞭なカリウム欠乏症徴が発生し、果実への影響もウンシュウミカンとは全く異なっていた（岩切、1992；松瀬ら、1998）。

本報告では試験開始後18年および23年経過時の三要素区、無カリウム区、無肥料区における土壤中のカリウムの存在形態と含量についての新しい知見を得たので報告する。この知見が今後の土壤診断基準やカンキツ樹の肥培管理技術の改善に寄与することを期待する。

## 材料及び方法

本試験の圃場は、1965年に場内の水田（礫質灰色低地土灰色系）を樹園地に造成した圃場である。開園はスコップで50-60cmまで全園を天地返して耕耘し、水田の鋤床層を破壊して畑地化した。直ちに1年生松田温州を植栽し試験を開始した。試験に先立ち1区0.42aに6樹植えとし、境界は60cmの深さまでビニール製の波板で遮断した。処理区は無肥料区、無チッソ区、無リンサン区、無カリウム区、三要素区、三要素+カルシウム+マグネシウム区の6処理、4反復である。1980年に6樹のうちウンシュウミカンを1樹残し、1樹を清見、その他を宮内伊予柑に高接ぎ更新した（第1表）。本報告では土壤中のカリウムの形態とその含量について、これらの処理区のうち、無肥料区、無カリウム区、三要素区にしぼって検討した。試験開始以降の施肥量および供試肥料の変遷を第2表に示した。肥料の形態はチッソを総て尿素で施用し、リンサンとカリウムについては1969年までは熔燐と塩化カリを使用した。それ以降は重燐と硫酸カリウムを使用した。土壤中のカリウムの形態別分析法は全カリウムがフッカ水素酸分解法、可吸態カリウムを熱硝酸抽出法、交換性カリウムを酢酸アンモニウム抽出法、水溶性カリウムを室温水抽出法によった。真の交換性カリウム画

分は交換性カリウムから水溶性カリウム画分を差し引いた。真の難溶性カリウム画分は可吸態カリウムから交換性カリウムを差し引いた。

採土は1983年3月に深さ0-10cm, 10-20cmから, 1989年6月に深さ0-10cm, 10-20cm, 20-40cmから採った。採土された試料は常法により風乾調整し分析試料とした。

第1表 試験区の設定条件

1. 供試園：土壤統名が礫質灰色低地土灰色系水田土壤をスコップで2段(50-60cm)天地返して、畑地化した平坦水田転換園。
2. 試験区：無肥料区, 無カリウム区, 無リンサン区, 無チッソ区, 三要素区, 三要素+カルシウム+マグネシウム区。
3. 規模：1区 0.42アール, 6樹植え, 4反復。
4. 供試樹：1965年, 開園と同時に松田系温州ミカン1年生苗を定植, 1979年に1樹ウンシュウを残し, 1樹を清見, 他を宮内伊予柑に高接ぎ更新した。

第2表 試験区の施肥量の変遷 (kg/10a)

年次 処理区 肥料成分	~1969年			1970~1978年			1979年以降		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
無肥料区	0	0	0	0	0	0	0	0	0
無チッソ区	0	6.75	9.00	0	9.0	12.0	0	0	16.0
無リンサン区	11.25	0	9.00	15.0	0	12.0	20.0	0	16.0
無カリウム区	11.25	6.75	0	15.0	9.0	0	20.0	12.0	0
三要素区	11.25	6.75	9.00	15.0	9.0	12.0	20.0	12.0	16.0
三要素+Ca+Mg区	11.25	6.75	9.00	15.0	9.0	12.0	牛糞堆肥2tのみ		

土壤のカリウム含量と品種別の葉中カリウム濃度との相関は, 1988年8月の葉分析値と1989年6月採土の土壤のカリウム含量とで計算した。

## 結 果

### 1. 土壤中の全カリウム含量

土壤中の全カリウムの分析結果を第3表に示した。1983年の土壤の全カリウム含量は, 深さに関係なく無肥料区が最も多く, 次いで三要素区であり, 無カリウム区が最少であった。1989年の土壤の全カリウム含量は, 無カリウム区が各深さともに最少であるが, 表層では三要素区が無肥料区よりもやや高くなっていた。しかしながら, 各処理区4反復の分散分析の結果では, 1989年の10-20cm土壤サンプルのみ処理間に有意差が認められた。

第3表 土壤中の全カリウム含量 (K<sub>2</sub>O · mg · 10<sup>-2</sup>g (dw))

年次 処 理 区	1983年		1989年		
	0-10	10-20	0-10	10-20	20-40 (cm)
無肥料区	2,143	2,172	1,973	2,035	2,077
無カリウム区	1,972	1,897	1,905	1,842	1,872
三要素区	2,032	1,921	2,019	2,009	1,950
分散比	1.09	2.21	0.65	15.61	1.37
有意性	NS	NS	NS	**	NS

有意性; \*\* 1%水準で有意

## 2. 土壌中の可吸態カリウム含量

土壌中の可吸態カリウム含量を第4表に示した。1983年の土壌中の可吸態カリウム含量は、各深さともに全カリウム含量と同じく無カリウム区が最少であった。一方、無肥料区と三要素区の比較では全カリウム含量の場合と異なり三要素区で多くなっていた。1989年の分析結果は、表層では無カリウム区が最少で無肥料区と三要素区の数値がほぼ等しいものの、その下層では三要素区が最大で、次いで無肥料区、無カリウム区の順であった。しかしながら、各処理区の統計処理の結果は、兩年ともに10-20cmの深さでのみ5%水準以上の有意差が処理間で認められた。

第4表 土壌中の可吸態カリウム含量 ( $K_2O \cdot mg \cdot 10^{-2}g$  (dw))

年次 処 理 区	1983年		1989年		
	0-10	10-20	0-10	10-20	20-40 (cm)
無肥料区	56.3	51.3	108.9	65.6	69.0
無カリウム区	49.7	45.5	66.1	70.0	70.0
三要素区	66.7	62.5	109.2	84.0	84.2
分散比	3.52	13.61	3.92	5.00	2.13
有意性	NS	**	NS	*	NS

有意性； \* 5%，\*\* 1% 水準で有意

## 3. 土壌中の交換性カリウム含量

土壌中の交換性カリウム含量を第5表に示した。処理区間の比較では年次や採土の深さ別にみても、交換性カリウム含量は三要素区が最大で、次いで無肥料区であり無カリウム区が最少であった。しかしながら、統計処理の結果では兩年ともに下層土では有意差がなかった。処理区および採土の深さ別に比較すると、1983年よりも1989年の交換性カリウム含量がやや少なくなっていた。

第5表 土壌中の交換性カリウム含量 ( $K_2O \cdot mg \cdot 10^{-2}g$  (dw))

年次 処 理 区	1983年		1989年		
	0-10	10-20	0-10	10-20	20-40 (cm)
無肥料区	35.1	28.9	24.0	17.3	42.2
無カリウム区	22.2	15.6	15.0	15.1	14.9
三要素区	50.5	56.6	46.8	30.7	35.6
分散比	12.84	3.42	33.35	4.74	1.16
有意性	**	NS	**	*	NS

有意性； \* 5%水準で有意，\*\* 1%水準で有意

## 4. 土壌中の水溶性カリウム含量

土壌中の水溶性カリウム含量は、第6表に示すように統計処理の結果、処理間の総ての採土部位で有意差が認められた。1983年の分析値では明らかに水溶性カリウム含量は三要素区が高く、次いで無肥料区であり、無カリウム区が最少であった。1989年の分析値では三要素施用区が高く、無肥料区と無カリウム区の数値は各深さともほぼ等しかった。

第6表 土壌中の水溶性カリウム含量 ( $K_2O \cdot mg \cdot 10^{-2}g (dw)$ )

年次 処 理 区	1983年		1989年		
	0-10	10-20	0-10	10-20	20-40 (cm)
無肥料区	10.0	5.3	2.4	1.8	1.5
無カリウム区	4.8	2.7	2.2	1.8	1.5
三要素区	17.8	14.2	17.8	14.8	7.8
分散比	13.30	22.43	56.79	18.37	25.48
有意性	**	**	**	**	**

有意性: \*\* 1%水準で有意

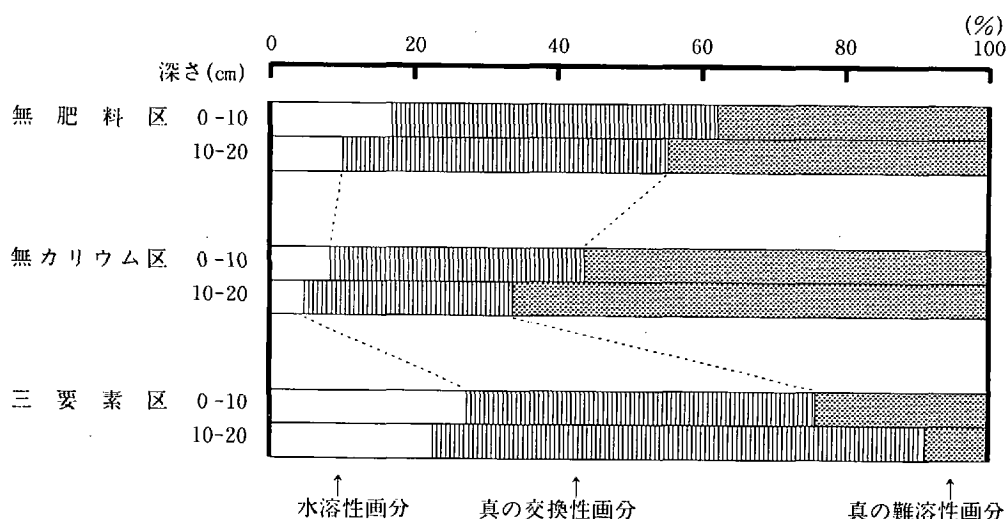
### 5. 土壌中でのカリウムの形態別画分

土壌中の全カリウムに占める可吸態カリウムの比率を第7表に示した。その数値は処理区や土壌の深さに一定した関係はなく、2-6%の低い値であった。

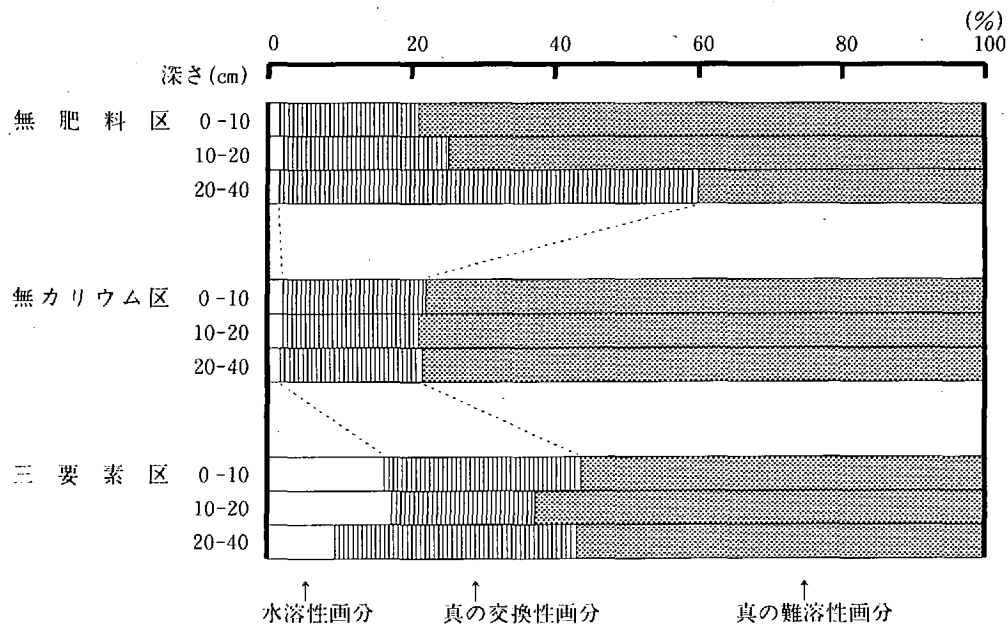
可吸態カリウムを100として、真の難溶性カリウム画分、真の交換性カリウム画分、水溶性カリウム画分に画分された値を百分率として1983年を第1図、1989年を第2図に示した。画分した可吸態カリウムの画分は、両年度ともに処理区間に共通した大きな特徴がある。それは三要素施用区では他の区よりも明らかに水溶性画分の占める比率が多く、無カリウム区では他の処理区に比べて明らかに真の難溶性画分の占める比率が多かった。深さ別にみた画分の違いは、1989年の無肥料区の20-40cm区を除くと各処理区の表層土壌に類似していた。

第7表 土壌中の全カリウムに占める可吸態カリウム率

年次 処 理 区	1983年		1989年		
	0-10	10-20	0-10	10-20	20-40 (cm)
無肥料区	2.6	2.4	5.5	3.2	3.3 (%)
無カリウム区	2.5	2.4	3.5	3.8	3.7
三要素区	3.3	3.3	5.4	4.2	4.3



第1図 可吸態カリウムにおける水溶性・真の交換性及び真の難溶性画分の比率 (1983年採土)



第2図 可吸態カリウムにおける水溶性・真の交換性及び真の難溶性画分の比率 (1989年採土)

## 6. 土層および形態別カリウム含量の相関行列

処理区やその反復をヘテロな土壤サンプルとみなし、1989年の土壤サンプルの分析値を用いて、土壤からの抽出法の違いからくるカリウムの形態ならびに土層間の相関行列を求めた結果を第8表に示した。土層の深さ0-10cm土壤の水溶性カリウム①は、より下層土の水溶性カリウム②と③との相関が高く、さらに、交換性カリウム④と⑤との相関も高いが、可吸態カリウムや全カリウムとの相関関係は低かった。土層の深さ0-10cm土壤の交換性カリウム④は、次層(10-20cm)の交換性カリウム⑤との相関は高いが、更に深い土層である20-40cm土壤の交換性カリウム⑥との相関はなかった。可吸態カリウムは上下層の可吸態カリウムとの相関に有意差がなく、水溶性カリウム、交換性カリウム、全カリウムとの相関もなかった。

第8表 採土の層位およびカリウムの抽出法(分析法)との相関行列

カリウム抽出法 土層 (cm)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
① 水溶性カリウム (0-10)	1.00	0.79	0.90	0.86	0.72	0.17	0.34	0.79	0.63	0.34	0.36	0.03
② 水溶性カリウム (10-20)		1.00	0.95	0.86	0.70	0.05	0.20	0.43	0.19	0.21	0.39	0.08
③ 水溶性カリウム (20-40)			1.00	0.84	0.79	0.08	0.19	0.64	0.29	0.24	0.44	0.07
④ 交換性カリウム (0-10)				1.00	0.75	0.16	0.57	0.75	0.16	0.44	0.52	0.16
⑤ 交換性カリウム (10-20)					1.00	0.10	0.35	0.31	0.21	0.11	0.37	0.21
⑥ 交換性カリウム (20-40)						1.00	0.42	0.29	0.19	0.36	0.53	0.33
⑦ 可吸態カリウム (0-10)							1.00	0.21	0.35	0.26	0.57	0.45
⑧ 可吸態カリウム (10-20)								1.00	0.60	0.24	0.24	0.03
⑨ 可吸態カリウム (20-40)									1.00	0.30	0.03	0.11
⑩ 全カリウム (0-10)										1.00	0.37	0.76
⑪ 全カリウム (10-20)											1.00	0.49
⑫ 全カリウム (20-40)												1.00

相関係数の有意性; 5%  $r = 0.576$ , 1%  $r = 0.708$

## 7. 品種ごとの葉中カリウム濃度と土壌中のカリウム含量の関係

処理区ごとの1988年度の葉分析値を第9表に示した。各品種ともに三要素区の葉中カリウム濃度が明らかに高く、次いで無肥料区であり、無カリウム区は極端に低かった。この3処理区の反復を含め、各品種ごとの葉中カリウム濃度と土壌中の分析法の違いによる形態別カリウム含量との相関を求め、第10表に示した。水溶性カリウムは松田温州と宮内伊予柑では全土層で、清見とは10-20cm土層の含量との相関が有意であった。交換性カリウムは3品種ともに0-10cm土層では高い相関関係があったが、松田温州と宮内伊予柑では10-20cm土層の含量との相関があるものの、その他の処理間には有意な相関関係がなかった。可吸態カリウムは松田温州と清見が0-10cm土層の含量でのみ有意な相関が認められた。全カリウム含量は3品種ともに10-20cm土層との間に有意な相関が認められた。

土壌のカリウム含量と葉中カリウム濃度の間で、最も高い相関係数を得たのは0-10cm土層の交換性カリウム含量と松田温州の葉中カリウム濃度との相関で、その相関係数は $r = 0.906$ で1%水準で有意であった(第3図)。この両者の間の回帰式は松田温州の葉中カリウム濃度をY、土壌中の交換性カリウム含量をXとすると $Y = 0.325 + 0.029X$ で示された。

第9表 処理区における品種別葉中カリウム濃度  
( $K \cdot mg \cdot 10^{-2}g (dw)$ )

	宮内伊予柑	清見	松田温州
無肥料区	1.45	1.30	1.20
無カリウム区	0.51	0.92	0.60
三要素区	1.86	1.50	1.68
分散比	27.47	8.69	52.28
有意性	**	**	**

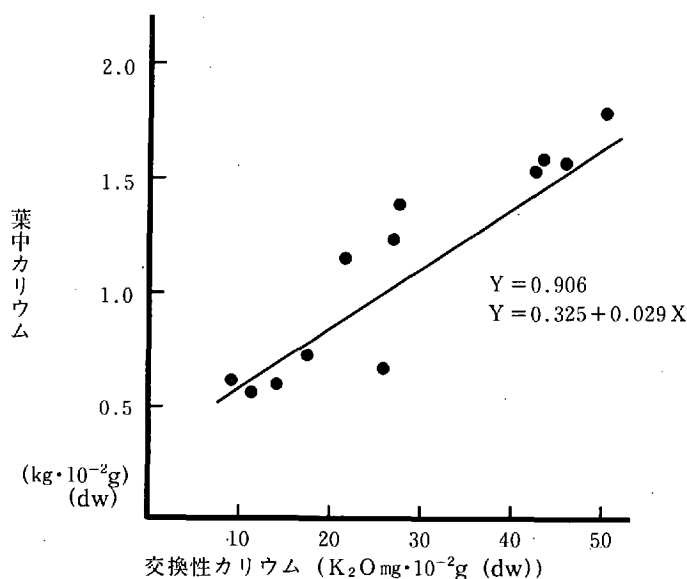
有意性； \*\* 1%水準で有意

第10表 品種別葉中カリウム濃度と土壌抽出カリウム含量との相関

土壌抽出カリウム	土層	宮内伊予柑	清見	松田温州
水溶性カリウム	0-10cm	** 0.685	NS 0.476	** 0.747
水溶性カリウム	10-20cm	* 0.620	* 0.662	** 0.775
水溶性カリウム	20-40cm	* 0.667	NS 0.523	** 0.752
交換性カリウム	0-10cm	** 0.759	** 0.811	** 0.906
交換性カリウム	10-20cm	** 0.715	NS 0.510	* 0.627
交換性カリウム	20-40cm	NS 0.353	NS 0.211	NS 0.283
可吸態カリウム	0-10cm	NS 0.504	** 0.687	** 0.693
可吸態カリウム	10-20cm	NS 0.317	NS 0.059	NS 0.448
可吸態カリウム	20-40cm	NS 0.276	NS 0.253	NS 0.323
全カリウム	0-10cm	NS 0.156	NS 0.331	NS 0.269
全カリウム	10-20cm	** 0.731	* 0.557	** 0.711
全カリウム	20-40cm	NS 0.015	NS 0.316	NS 0.223

注) 葉分析；1988年分析値，土壌分析；1989年分析値

有意性； \* 5%， \*\* 1%水準で有意



第3図 土壌の交換性カリウムと葉中カリウム濃度の相関

### 考 察

Chapman, H. D. (1968) は、カンキツ類のカリウム栄養がやや不足から欠乏状態に至る過程で、葉が巻く、葉先の葉緑が焼けて落葉する、葉に樹脂性黄色小斑を発生させる、枝先から枯れ込む、着花果が減少する、果実の小玉化と着色不良、果汁糖度の上昇と酸度の僅かな減少など品種によって多様な影響があることを報告している。本試験の無カリウム区はウンシュウミカンの枝葉には明確なカリウム欠乏症徴を発生させてはいないが、果実の小玉化や着色不良、貯蔵力の減退、果皮色の紅の減少、果汁の酸の減少などカリウム栄養の不足の症状を示していた。さらに、このようなウンシュウミカンの長期にわたる三要素試験継続樹に、宮内伊予柑・清見を高接ぎ更新した結果、宮内伊予柑では葉に樹脂性黄色小斑を生じ、その後、葉焼けして落葉し枝葉まで枯れ込む激しいカリウム欠乏の症状が発生した。本試験ではこのようにウンシュウミカンの長期肥料試験樹に他の品種に高接ぎ更新することで、異なる品種での三要素の反応を早期に確認できたことが重要である。この間の詳細な成績は前報(岩切, 1992; 松瀬ら, 1998)で報告した。この報告では本試験での土壌中のカリウムの存在形態を中心に、処理区による変化と土層間での変化およびミカン品種間での葉中カリウム濃度と土壌中のカリウムの形態との関連から土壌中のカリウム含量の適正值などについて論じた。

Embleton, T. W.ら(1973a)は、カリウムは土壌の表層に蓄積されやすく、土壌中では非交換態から交換態に補給され、また、ミカン園では落花果や落葉などでも補給される。カリウムの肥効は土壌による変動が大きい。それは土壌溶液中のK<sup>+</sup>の根圏への移動の難易が影響する。その要因としては土壌の陽イオン交換容量やカリウム飽和度の影響が強いとしている。菅野・徳留(1963)も土壌のカリウム供給力はKc(1規定の硝酸での抽出が一定化するカリウム量)が大きいことで、それは土壌の粒子が細かいほど大きくなり、花こう岩に由来する土壌は比較的供給力が高いとしている。本試験の土壌は礫質灰色低地土灰色系の水田を転換した園である。この水田土壌は佐賀県では花こう岩からなる山地の山麓に発達した沖積水田であり、I層目の交換性カリウムの含量は代表値で8 mg・10<sup>-2</sup>g(dw)で、その数値の幅は3-12 mg・10<sup>-2</sup>g(dw)と云われている(佐賀県地力保全基本調査総合成績書; 1979)。本試験の供試土壌は、通常の既成の果樹園土壌に比べ、交換性カリウムがかなり少ない状態での試験開始であった。このことが、日本で最初の現地圃場でのカンキツ類のカリウム欠乏症を明確に確認し得た原因と考えられる。



土壌中の水溶性カリウムは兩年とも、各土層で処理区間に有意差が認められ、三要素区で明らかに多かった。水溶性の性格から考えて当然であるが、いずれの処理区でも上層の影響を強く受けていた。

交換性カリウムは下層よりも表層で処理間の有意差が明確であった。岡田 (1983) は無カリウム区に比べ、カリウム施用区では交換性カリウムの形態が増加すると報告している。このことは本試験の結果と一致している。本試験の無カリウム区の交換性カリウムは、第5表に示したように $15-22\text{mg} \cdot 10\text{-}2\text{g (dw)}$  (当量単位では $0.3-0.5\text{cmol (+) kg}^{-1}$ ) である。8年間ウンシュウミカンで継続したが何の影響も認めなかった松本ら (1979) の試験では、試験終了時の土壌中の交換性カリウムは無カリウム区が上層で $1.2\text{cmol (+) kg}^{-1}$ 、下層土 (20-40cm) で $0.8\text{cmol (+) kg}^{-1}$ であり、一方、標準施肥区では上層が $2.0\text{cmol (+) kg}^{-1}$ で、下層が $0.9\text{cmol (+) kg}^{-1}$ であった。ウンシュウミカンの果実形質に若干の差を認めた坂本・奥地 (1963) の試験終了時の土壌分析では、深さが0-5cmで $0.7\text{cmol (+) kg}^{-1}$ 、5-10cmで $0.34\text{cmol (+) kg}^{-1}$ 、10cm以下では $0.39-0.5\text{cmol (+) kg}^{-1}$ である。ウンシュウミカンの葉に樹脂性黄色小斑のカリウムの欠乏症徴の発生を認めた長谷ら (1972) は、土壌中の交換性カリウムが $4-5\text{mg} \cdot 10^{-2}\text{g}$ 以下でカリウム欠乏症が発生するとしている。しかし、この値は当量単位に直すと $0.1\text{cmol (+) kg}^{-1}$ 以下であり、本試験で明らかになった様に他のカンキツ類をも含め、カリウム欠乏症を発生させる量としてはやや低すぎると考える。それはポット試験と異なり、本試験で示すように長期間の圃場試験ではもっと上のカリウム水準でカリウム欠症状が発生するからである。

中原ら (1965, 1976) は、段階状水田を転換したミカン園では転換年次が経つほど下層土の塩基飽和度が低下するが、この傾向は平坦部水田転換園では認められないと報じている。本試験の圃場は完全な平坦部水田転換園であり、交換性カリウムでみる限り下層土で極端に減少する傾向はみられなかった。Embleton, T. W. ら (1973a) は土壌の交換性カリウムが置換性塩基の10%を割るとカリウム欠乏が出やすいとしているが、ここではカルシウムやマグネシウムが分析されてなく論議できない。

中原ら (1965, 1976) は段階状と平坦部水田転換ミカン園のミカンの根の垂直分布を比較した。土層の深さ別に0-10cm, 10-20cm, 20-30cm, 30-40cm, 40cm以下の細根分布をみると、段階状水田転換園のミカンはそれぞれ28%, 38%, 24%, 10%であり、平坦部水田転換ミカン園では48%, 41%, 10%, 1%の垂直分布であった。平坦部水田転換ミカン園では20cm以下の細根分布が極端に少なく、20cmまでは細根の分布が均一であった。本試験の可吸態カリウムと全カリウムは表層や下層よりも10-20cm土層で処理区間の差が出やすかったが、これはミカンの細根分布の実態と関連するものと考えられ、ミカン樹のカリウム吸収形態からみても興味深い。

菅野・徳留 (1963) は1規定硝酸で抽出を重ねると4-6回でカリウムの溶出濃度が一定化 (Kc) し、この量が土壌のカリウム供給力と関連すると提案している。無肥料区はミカン樹の生育や果実生産が極端に悪く、果実生産によるカリウムの収奪は三要素区や無カリウム区に比べ大幅に少ないものと思われる。無カリウム区は松田温州では果実の形質に差があるものの、三要素区に比べて収量には無肥料区ほどの大差がない。無カリウム区での全カリウム含量や可吸態カリウム含量の減少は、試験開始後18年および23年間の長期間の処理で、果実生産にともなう土壌からの収奪や土壌のカリウムの形態の変化に起因するものと考えられる。

カリウムの分析法は、可吸態カリウムには水溶性カリウム画分と交換性カリウムが含まれており、交換性カリウムの分析値には水溶性カリウム画分が含まれている。これら水溶性カリウム画分・真の交換性カリウム画分・真の難溶性カリウム画分に分画した。無カリウム区では水溶性画分が特に1983年の土壌では少なく、可吸態カリウム含量を100とした各画分の中での水溶性カリウム画分への分配も少ない。1983年のカリウムの各画分をみると、無カリウム区、三要素区と無肥料区の変化から、ミカン樹のカリウムの吸収の順位は水溶性画分>真の交換性画分>真の難溶性画分の順に吸収しやすいものと考えられた。それは無カリウム区

では真の難溶性カリウム画分の占める率が多く、水溶性カリウム画分が少ないことから推察される。

土層および形態別（分析法別）カリウム含量の相関行列から、水溶性と交換性はかなりの相関があり、かつ、これらは上下の土層との相関があった。一方、可吸態や全カリウム含量ではこのような関連はほとんど認められなかった。

土壌中のカリウムの形態とミカン葉中のカリウム濃度の相関をみるために、第9表に処理区ごとの1988年の葉分析値を示している。各品種とも無カリウム区では明らかにカリウム濃度が低い、無肥料区ではカリウムの施用がないにもかかわらず無カリウム区ほどは低下していなかった。同様なことはリンゴで山崎ら(1970)が報告している。

Embleton, T. W.ら(1973b)はカンキツ類の葉分析の診断基準として、葉中カリウム濃度が $0.4\text{g} \cdot 10^{-2}\text{g}$ 以下を欠乏、 $0.40-0.69\text{g} \cdot 10^{-2}\text{g}$ を低い、 $0.7-1.09\text{g} \cdot 10^{-2}\text{g}$ を適正、 $1.1-2.0\text{g} \cdot 10^{-2}\text{g}$ を高い、 $2.0\text{g} \cdot 10^{-2}\text{g}$ 以上を過剰とした。葉中カリウム濃度の上昇は、 $0.7\text{g} \cdot 10^{-2}\text{g}$ 以上の上昇よりも、 $0.3-0.7\text{g} \cdot 10^{-2}\text{g}$ の範囲での上昇が収量増との関連性が高い。それは $0.7\text{g} \cdot 10^{-2}\text{g}$ 以上での上昇は着花果の増加は望めず、果実肥大のみが収量増の要因となるからである。長谷・石原(1972)はウンシュウミカンのカリウム濃度の適正值は $1.3-1.6\text{g} \cdot 10^{-2}\text{g}$ としている。佐賀県のウンシュウミカンの葉中カリウム濃度の診断基準としては、 $0.8\text{g} \cdot 10^{-2}\text{g}$ 以下を欠乏、 $0.81-1.0\text{g} \cdot 10^{-2}\text{g}$ を少ない、 $1.01-1.60\text{g} \cdot 10^{-2}\text{g}$ を適正、 $1.61-1.8\text{g} \cdot 10^{-2}\text{g}$ を多い、 $1.81\text{g} \cdot 10^{-2}\text{g}$ 以上を過多と位置づけている(佐賀県農作物等診断マニュアル, 1997)。本試験で枝葉に激しいカリウム欠乏症徴を発生させた宮内伊予柑では $0.5\text{g} \cdot 10^{-2}\text{g}$  (dw)であり、松田温州は $0.6\text{g} \cdot 10^{-2}\text{g}$  (dw)、清見で $0.9\text{g} \cdot 10^{-2}\text{g}$  (dw)で、清見を除くと明らかに欠乏の範囲であった。

長谷・石原(1972)はウンシュウミカンのポット試験でカリウムの供給量を5水準、着果と未着果を組み合わせさせて試験した結果、果実によるカリウムの収奪が多い着果樹で葉中カリウム濃度が低下することを明らかにしている。Chapman, J. C. (1982)はミカンの1樹あたりにカリウム施用量を0kg, 0.5kg, 2.0kgの3水準を設け、着果と不着果の葉中カリウム濃度の変動をみている。不着果では $0.85\text{g} \cdot 10^{-2}\text{g}$  (dw),  $0.93\text{g} \cdot 10^{-2}\text{g}$  (dw),  $1.35\text{g} \cdot 10^{-2}\text{g}$  (dw)であり、着果では $0.4\text{g} \cdot 10^{-2}\text{g}$  (dw),  $0.44\text{g} \cdot 10^{-2}\text{g}$  (dw),  $0.77\text{g} \cdot 10^{-2}\text{g}$  (dw)と大幅に低くなる。本試験では着果による変動もあるが、品種によりカリウム欠乏の発生の難易や症状が大きく異なることを明らかにした。

葉中カリウム濃度と土壌中のカリウムの形態別含量との相関関係は、各土層とも水溶性カリウムとの相関に有意差がある場合が多かった。交換性カリウムでは0-10cmの表層土の数値との相関に有意差があった。山崎ら(1970)は熟畑土壌と未耕土土壌を用い、ポットでリンゴの三要素試験を実施した結果、葉中カリウム濃度と土壌中の交換性カリウム含量の相関関係は、土壌の違いによる変動は少なく、有意な相関があると報告している。

本試験で葉中カリウム濃度と最も高い相関係数を得たものは、松田温州の葉中カリウム濃度と0-10cm土壌の交換性カリウム含量との間で、 $r=0.906$ で1%の有意差が認められた。得られた回帰式からウンシュウミカンのカリウム濃度を $1\text{g} \cdot 10^{-2}\text{g}$  (dw)に保つ土壌中の交換性カリウム含量は $23.3\text{mg} \cdot 10^{-2}\text{g}$  (dw) (当量単位では $0.5\text{cmol} (+)\text{kg}^{-1}$ )であった。

長谷・石原(1972)の主張するミカン葉のカリウム濃度が適正值の下限値である $1.3\text{g} \cdot 10^{-2}\text{g}$  (dw)を保つには、土壌中の交換性カリウム含量が $33.6\text{mg} \cdot 10^{-2}\text{g}$  (dw) (当量単位では $0.7\text{cmol} (+)\text{kg}^{-1}$ )と計算される。九州農試(1980)で策定された“九州における土壌診断基準”では、土壌の交換性カリの適正範囲を火山灰土壌で $0.3-0.7\text{cmol} (+)\text{kg}^{-1}$ 、非火山灰土壌で $0.4\text{cmol} (+)\text{kg}^{-1}$ とされている。この値は既肥などの施用で土壌中にカリウムが蓄積されやすく、その過剰害の防止を考えるとともに、カリウムの肥効から考えて不足を来さない十分な量を考慮して決定されている。しかしながら、岩切・松瀬(1986)はミカン園にお

ける有機物施用園の実態調査から、上限値が現場の実態とあわないこと、単なる交換性カリウムのみでなく、Mg/K比や全塩基に占めるカリウムの百分率、カルシウムやマグネシウム、カリウムの三角図表での分布など、総合した判断が必要であるとしている。

長井・清藤(1968)は圃場でのリンゴの三要素試験から、リンサンとカリウムは3～4年、それ以上の無施用でも影響が生じないのが普通で、土壌中のリンサンやカリウムとリンゴの栄養を関連づけることは困難であると報告している。ミカンでもカリウム削除の影響が全くみられなかった試験の多くは、土壌中の交換性カリウム含量がここで問題にしている量よりも多かったためである。岩切・松瀬(1986)は、通常に管理をされている園では、カリウムの過剰の心配はあっても、不足することはないと報告している。しかしながら、本試験での成績で判断する限り、九州地域での現行の土壌診断基準値のカリウムの下限値は低すぎると判断した。

日本における果樹の施肥の実態は、それぞれの肥料成分を単独で施用することは少なく、配合肥料、複合肥料、化成肥料など多くは三要素が同時に含まれている。しかしながら、諸外国では土壌診断や葉分析に基づきカリウムの施用を削減または廃止している場合も多い(Tribulato, E. and Cicala, A., 1983; Jones, L. G., et al., 1983; Bevington, K., 1984; Hume, L. J., et al., 1985; Kohli, R. R., et al., 1996; Tost, R., et al., 1996)。今後、日本の果樹栽培においても、少資源持続型農業に転換するためには、的確な診断基準を持つことが重要である。本試験の成績は圃場における長期試験として土壌のカリウム診断基準設定の参考になるものと考えられる。

## 摘 要

水田を転換した園で長期にわたるカンキツ類の三要素試験を実施した。試験開始18年、および23年後の無カリウム区、無肥料区、三要素区の土壌中のカリウムの形態や含量について、処理区間およびカンキツ品種別の葉中カリウム濃度との関連を検討した。

1. 土壌中の水溶性カリウム、交換性カリウムおよび可吸態カリウムは三要素区で多く、次いで無肥料区、無カリウム区が少なかった。土壌中の全カリウム含量は無カリウム区が最も少なかった。
2. 土壌中の全カリウムに占める可吸態カリウムの比率は2～6%に過ぎなかった。可吸態カリウムを100とし水溶性カリウム画分・真の交換性カリウム画分・真の難溶性カリウム画分に分画した結果、三要素区では明らかに水溶性カリウム画分の比率が高く、無カリウム区では他の処理区よりも明らかに難溶性カリウム画分の占める比率が高かった。
3. 土壌中のカリウム形態の中で、水溶性カリウムと交換性カリウムは土壌の上下層との関連があるが、可吸態や全カリウムの形態では上下層との関連はないようである。
4. 松田温州・宮内伊予柑・清見の葉中カリウム濃度と土壌中のカリウム含量との相関を見た結果、水溶性カリウムではどの土層の分析値とも有意な相関関係が多かった。交換性カリウム含量は3品種ともに0～10cmの土壌分析値との相関が高かった。全カリウム含量とは10～20cmの土壌分析値との間で3品種とも有意な相関があった。
5. 土壌中のカリウムと葉中のカリウム濃度の相関が最も高かったのは、0～10cm土壌の交換性カリウム含量と松田温州の葉中カリウム濃度との相関で $r=0.906$ (1%有意)であった。葉中カリウム濃度をY、交換性カリウム含量をXとすると $Y=0.325+0.029X$ の回帰式が得られた。
6. 土壌診断基準の交換性カリウムの下限値は、カンキツ樹では少なくとも $0.5\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ が必要である。

謝辞： 本試験は農林水産省の総合助成事業における中核試験研究（1987-1989）の一環である。土壌中カリウムの分画定量については佐賀大学の矢野綱之助教授の指導を受けた。ここに深謝する。

## 引用文献

- 浅見与七. 1951. 果樹栽培汎論（土壌肥料編）. 養賢堂.
- Bevington, K..1984. Effect of nutrition on yield and fruit quality of citrus. Australian Citrus News 60 (December) 10-12.
- Chapman, H. D..1968. The mineral nutrition of citrus. The Citrus Industry. II. Chapter 3. 127-291. Univ. of Calif. Division of Agri. Sci.
- Chapman, J. C..1982. The effect of potassium and yield, fruit quality and leaf analysis of Imperial mandarins. Australian Jou. of Exper. Agri. and Animal Husbandry. 22(117) : 331-336.
- 長谷嘉臣・石原正義. 1972. 温州ミカンのカリ栄養に関する研究. II. カリ施用量および結実量が樹の生育・樹体成分ならびに果実品質に及ぼす影響. 園試報. A 11 : 77-102.
- 岩切 徹・松瀬政司. 1986. 果樹園における有機物施用効果の解析. 第2報. 有機物施用園の実態調査. 佐賀果試研報. 9 : 11-22.
- 岩切 徹・松瀬政司. 1988. 果樹園における有機物施用効果の解析. 第6報. 既肥連用ミカン園における施肥法の改善. 佐賀果試研報. 10 : 47-58.
- 岩切 徹. 1992. カンキツのカリウム欠乏症と土壌中のカリウム含量の適正化. 九州農業の新技术. 5 : 185-194.
- Jones, L. G., Constantin, R. J., Brown, R. T. and Thibodeaux, S. D.. 1983. Nutrition of navel in Southern Louisiana. Bulletin Louisiana Agricultural Experiment Station No.746, 64.
- Kohli, R. R., Huchche, A. D., Lauan, Ram, Srivastava, A. K. and Dass, H. C.. 1996. Interaction effect of leaf nitrogen and potassium on growth, yield and quality of Nagpur mandarin. Journal of Potassium Research. 12 (1) : 70-74.
- 菅野一郎・徳留昭一. 1963. 日本の主要土壌型におけるカリの形態. カリシンポジウム. 1-28.
- 九州農試編. 1980. 写真でみる九州の土壌と農業. 九州農試編集委員会.
- 松本明芳・松井正徳・畠中 洋. 1979. 温州ミカンに対するカリの施用量試験. 福岡園試報. Vol.17 : 39-46.
- 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
- 中原美智男・山本正人・岩切 徹. 1965. 水田転換ミカン園土壌に関する研究. 第1報. 段階状水田転換土壌の性状. 佐賀果試研報. 4 : 37-46.
- 中原美智男・岩切 徹・山本正人. 1976. 水田転換ミカン園土壌に関する研究. 第2報. 平坦部転換園土壌の性状. 佐賀果試研報. 6 : 31-40.
- 長井昇四郎, 清藤盛正. 1968. 三要素試験の調査報告. 第1報. 三要素肥料のリンゴ樹体内成分に及ぼす影響. 青森リンゴ試報. 72 : 1-23.
- 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.
- 坂本辰馬・奥地 進. 1963. 温州ミカン成木に対するカリ肥料施用の影響について. 園学難. 32 (4) : 256-264.

- 佐藤吉史・永友英二・波多野洋. 1987. 三要素施用量が温州ミカンの生育, 収量及び果実品質におよぼす影響. 宮崎総農試研報. 21 : 49-61.
- 佐賀県. 1966. 佐賀県総合開発計画書. 第2編. 農林 第4章. 園芸振興計画 ; 195-216.
- 佐賀県農業試験場. 1979. 地力保全基本調査総合成績書. 114-115.
- 佐賀県農林部. 1997. 農作物診断マニュアル (土壌・作物栄養・水質・堆肥) ; 186.
- 高橋郁郎. 1936. 柑橘樹の要する肥料成分の量に就いて. 柑橘研究. 1 (1) : 61-68.
- 高辻豊二・石原正義. 1980. ウンシュウミカンのカリ栄養に関する研究. 第3報. 耐寒性と二三の樹体内成分含量に及ぼす影響. 果樹試報. A. 7 : 45-62.
- Tom W. Embleton, Herman J. Reitz, and Winston W. Jones. 1973a. Chapter 3. Citrus Fertilization. The Citrus Industry. III. 122-182. University of California Division of Agricultural Sciences.
- Tom W. Embleton, Winston W. Labanauskas, and Walter Reuther. 1973b. Chapter 6. Leaf Analysis as a Diagnostic Tool and Guide to Fertilization. The Citrus Industry. III. 183-210. University of California Division of Agricultural Sciences.
- Tribulato, E. and Cicala, A.. 1983. La concimazione degli agumi indagine campionaria e considerazioni tecnico agronomiche. Rivista di Frutticoltura e di Ortofloricoltura. 45 (2) : 7-16. Soils and Fert.. 1983. 46 (7) : 7341.
- 山崎利彦・新妻胤次・田口辰雄. 1970. リンゴ園の土壌肥沃土に関する研究. 第4報. 火山灰・第三紀土壌のリン酸, カリの無施用に対する反応と腐植質火山灰におけるリン酸の形態と肥効について. 秋田果試研報. 2 : 65-78.
- Yost, R. Chen, Guomeng, and Hiraie, H.. 1996. Using FACS (Fertility device and Consulting System) to make fertilization recommendation for macadamia. Hawaii Macadamia Nut Association : 35-40.