

近畿中国四国農業研究センター研究報告 第1号

所長 権藤 昭博

編集委員会

編集委員長	仙北俊弘		
委員	小池俊吉	増淵隆一	
	宮井俊一	岡崎紘一郎	
	小川紹文	東正昭	
	四方平和	大石孝雄	
	棚田光雄	小金澤碩城	
	川本治	石田茂樹	
	吉川省子	池田順一	
	佐藤節郎	寺上信正	
	川口稔		

BULLETIN
of THE NATIONAL AGRICULTURAL RESEARCH CENTER
for WESTERN REGION

No. 1

Akihiro GONDOH, Director General

EDITORIAL BOARD

Toshihiro SENBOKU, Chairman	
Toshikichi KOIKE	Ryuichi MASUBUCHI
Shunichi MIYAI	Kouichirou OKAZAKI
Tsugufumi OGAWA	Masaaki HIGASHI
Hirakazu SHIKATA	Takao OISHI
Mitsuo TANADA	Hiroki KOGANEZAWA
Osamu KAWAMOTO	Shigeki ISHIDA
Seiko YOSHIKAWA	Jun-ichi IKEDA
Seturo SATO	Nobumasa TERAUE
Minoru KAWAGUCHI	

近畿中国四国農業研究センター研究報告 第1号

(平成14年3月)

目 次

急傾斜地カンキツ園の機械化体系に関する研究

宮崎昌宏・岡崎紘一郎・石東宣明・高辻豊二・猪之奥康治・
関野幸二・山本 博・長崎裕司・田中宏明・角川 修 …………… 1

大麦・小麦 α -および β -チオニンによる耐酸耐熱性細菌 *Alicyclobacillus acidoterrestris* の制御 (英文)

老田 茂 …………… 49

有機物連用圃場におけるダイコンの品質

浦嶋泰文・須賀有子・福永亜矢子・池田順一・堀 兼明 …………… 61

有機栽培農家圃場の土壌の実態

堀 兼明・福永亜矢子・浦嶋泰文・須賀有子・池田順一 …………… 77

BULLETIN
of THE NATIONAL AGRICULTURAL RESEARCH CENTER
for WESTERN REGION

No. 1 March 2002

CONTENTS

Research on the Development of Mechanized Production System for Steep Sloping Citrus Orchards Masahiro MIYAZAKI, Koichiro OKAZAKI, Noriaki ISHIZUKA, Toyoji TAKATSUJI, Koji INOOKU, Koji SEKINO, Hiroshi YAMAMOTO, Yuji NAGASAKI, Hiroaki TANAKA and Osamu SUMIKAWA	1
Control of Thermoacidophilic <i>Alicyclobacillus acidoterrestris</i> by Barley and Wheat α - and β -Thionins Shigeru OITA	49
Quality of Japanese Radish (<i>Raphanus sativus</i> L.) under the Compost Successive Application Yasufumi URASHIMA, Yuko SUGA, Ayako FUKUNAGA, Jun-ichi IKEDA and Kaneaki HORI	61
Soil Chemical Characteristics of Organic Farming Vegetable Fields Kaneaki HORI, Ayako FUKUNAGA, Yasuhumi URASHIMA, Yuko SUGA and Jun-ichi IKEDA	77

急傾斜地カンキツ園の機械化体系に関する研究

宮崎昌宏*・岡崎紘一郎・石東宣明**・高辻豊二***

猪之奥康治・関野幸二・山本 博****・長崎裕司*****・田中宏明・角川 修

Keywords : mechanization, steep slopeland, citrus orchard

目 次

I 緒 言	1	4 導入技術の作業特性と評価	24
II カンキツ生産の現状と取り上げる 機械化体系の概要	2	5 摘 要	27
1 カンキツ生産の現状	2	V カンキツ生産作業体系選択過程の分析	27
2 急傾斜地カンキツ園の機械化体系に 関する既往の研究	4	1 序 言	27
3 本研究の目的と取り上げる機械化体系	5	2 階層分析法と 意思決定支援システムの開発	27
III 歩行形機械化体系における 要素技術の開発	6	3 意思決定過程の構造	28
1 序 言	6	4 選択過程の調査と分析	30
2 園内作業道の簡易舗装法の開発	7	5 摘 要	34
3 病虫害防除機の開発	9	VI 結 論	34
4 肥料散布機の開発	13	1 カンキツ生産の現状と取り上げる 機械化体系	35
5 収穫作業のシステム分析	15	2 歩行形機械化体系のための 要素技術の開発	35
6 摘 要	21	3 歩行形機械化体系の現地実証	36
IV 歩行形機械化体系の現地実証	22	4 カンキツ生産作業体系選択過程の分析	36
1 序 言	22	5 摘 要	36
2 対象とした急傾斜地カンキツ園の 概況と園地改良	22	謝 辞	37
3 導入した作業体系	23	引用文献	37
		Summary	40

I 緒 言

我が国のカンキツのおよそ半分は、傾斜15度以上の急傾斜地で栽培されている。急傾斜地でカンキツ

が多く栽培されるのは、排水・風通し・日照が良く、寒気だまりが少ないなど、高品質な果実生産ができることが主な理由である。

傾斜地カンキツ園の多くは、第二次世界大戦後に手開墾で開園された。特にカンキツ類の中で最も生

(平成13年12月6日受理)

傾斜地基盤部

* 現野菜茶業研究所

** 現島根大学

*** 現果樹研究所

**** 現畜産草地研究所

***** 現中央農業総合研究センター

産量の多いウンシュウミカン園は1960年代に急激に増加し、1969年の栽培面積は1960年の約2.6倍と驚異的な増加を示した。ところが、1970年代にはいるとカンキツは供給過剰に陥り、果実価格の暴落を招いて栽培面積は年々減少し、現在では1960年当初の栽培面積まで落ち込んでいる¹⁾。しかし、ミカン生産は栽培面積および生産量とも我が国の果樹生産の第1位を占め、国民の豊かな食生活に貢献するとともに、傾斜地農業の中心的な役割を担い、地域農業の大きな柱になっている。

しかし、現状のカンキツ生産は、厳しい社会的・経済的な下で生産構造の変革が求められている。1991年の生鮮オレンジ、1992年のオレンジ果汁を最後に全ての生鮮果実、果実加工品が完全輸入自由化となり、国際競争の中で生産を維持発展させなければならない。また、消費需要においても若年層を中心とした果実離れが進み、個人の果実購入量が減少するとともに、消費ニーズの高級化・多様化が進行し²⁾、外観や食味が劣る果実はたとえ単価が安くても消費者は見向きもしなくなっている。すなわち、消費者嗜好に適した高品質果実を生産・供給しなければならない。しかも、果実があまりにも高価では消費の拡大は望めず、高品質果実をできるだけ安価に消費者へ供給できる低コスト生産が併せて求められている。

このような状況下、急傾斜地カンキツ園は高品質な果実生産には適しているが、その大部分が手開墾で広がった園地であることから、区画が狭いうえに密植されており、作業者が通る程度の空間が確保されているにすぎない。このため、基盤整備や機械化が立ち後れ、作業はほとんどが手作業であり、生産者に長時間の重労働を強いている。しかも、カンキツ栽培においても生産者の高齢化や女性化が進行し、後継者が不足するという労働力の脆弱化が進み、生産の単一世代化による産地の崩壊が危惧される状況に至っている³⁾。このため、産地では急傾斜地カンキツ園において、高齢者や女性でも楽に作業ができ、しかも後継者に魅力ある果樹園経営を提供できる機械化生産システムを強く求めている。

このような背景のもと、本研究は大部分の作業を手作業に頼らざるを得なかった傾斜15度以上25度未満の急傾斜地カンキツ園を対象として、作業の省力

化と軽作業化を目的とした機械化体系の開発に主眼をおいたものである。また、これに関して生産者がカンキツ生産体系を選択する過程を分析し、開発した作業体系の導入条件を考察したものである。

本論文の内容は次のとおりである。

Iでは、カンキツ生産の現状および既往の研究成果から、本研究の目的と取り上げる機械化体系の概要を述べる。

IIでは、開発を目指した歩行形機械化体系のための要素技術として開発した園内作業道の簡易舗装技術、病害虫防除機、施肥機の概要と作業特性を述べる。また、収穫作業についてシステム分析を行い、本体系に適合する収穫物の運搬方式について検討する。

IIIでは、開発した歩行形機械化体系を愛媛県北宇和郡吉田町のカンキツ栽培農家に導入し、労働強度、作業時間、並びに果実生産量について慣行の作業体系と比較調査し、本体系の省力化および軽作業効果を明らかにする。

IVでは、階層分析法に基づく意思決定支援システムを開発し、それをを用いて生産農家がカンキツ生産作業体系を選択する意思決定過程を明らかにするとともに、開発した歩行形機械化体系の適用条件を明らかにする。

なお、本研究で示した機械化体系は、農林水産技術会議が公表した「農林水産試験研究成果10大トピックス1996」⁴⁾に選ばれるとともに、農林水産省が策定した「農業キーテクノロジーの確立普及のための行動計画 (AGROKEY21)」の「果樹低樹高省力化技術体系」⁵⁾⁶⁾に取り上げられた。また、本研究で開発した風筒式防除機は実用性が認められ⁷⁾¹⁰⁾、商品化された。

II カンキツ生産の現状と取り上げる機械化体系の概要

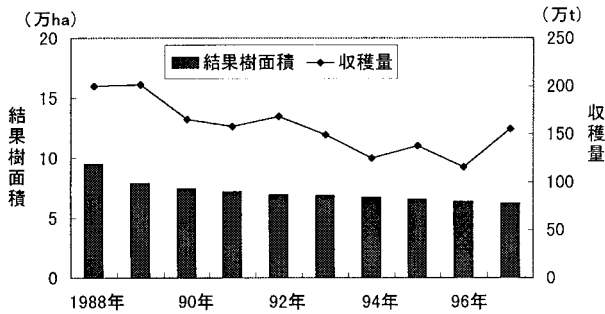
1 カンキツ生産の現状

1) 収穫量と農家数の推移

我が国で栽培されているカンキツは、ウンシュウミカン、ナツミカン、ハッサク、イヨカン、ネーブルオレンジなどがあり、1997年の収穫量をみると、ウンシュウミカンが155.5万トンとカンキツ全体の79%を占め、これに次いでイヨカンの20.2万トン

(10%)，ナツミカンの11万トン (5.6%) である¹¹⁾。

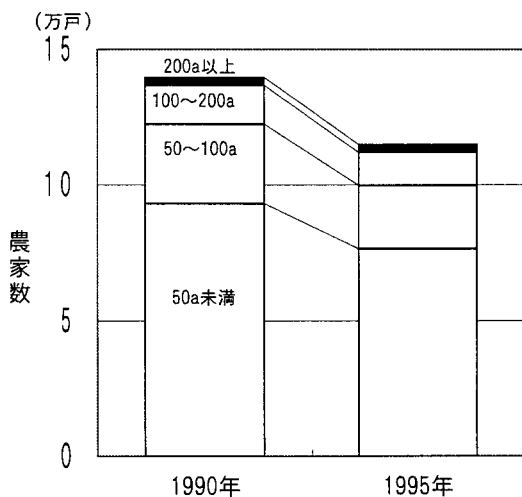
カンキツ栽培で最も収穫量の多いウンシュウミカン (以下、ミカンと記述) の1988～1997年にかけての結果樹面積と収穫量の推移¹²⁾を第1図に示す。結



第1図 ミカン生産の結果樹面積及び収穫量の推移

果樹面積は年々減少しているが、国産果樹の中では最も大きく1997年では6.2万haである。収穫量は結果樹面積と同様に全体的には減少傾向にはあるが、隔年結果性が強いいため年次変動が大きく、1997年は前年産に比べて35%増加している。

1990年と1995年のミカン販売農家数⁶⁾を規模別に見たのが第2図である。1995年の農家数は11万5千戸であり、一戸当たりの平均栽培面積は約60aである。規模別に見ると、50a未満の農家数は7万7千戸(67%)、50～100aは2万3千戸(20%)、100a～200aは1万2千戸(11%)、200a以上は3千戸であり全体の3%にすぎない。これを1990年の農家数と比較すると、全体で2万5千戸、割合では18%減少している。規模別の減少率をみると、50a未満が18%、50



第2図 ミカン生産規模別農家数の推移

～100aが21%、100～200aが8%、200a以上が1%と中規模層の農家を中心に減少が進み、大規模層の減少率は小さくなっている。

農家数の減少は農地の流動化を促すが、現実には労働力が不安定であり、農家数の減少が栽培面積の減少に連動している。この原因としては、省力化が立ち遅れていること、永年生作物であることから売買・賃貸借の契約に際して園地の評価が難しいこと、園地整備がなされていない園地では借り手のメリットが少ないこと等があげられる⁶⁾。すなわち、急傾斜地カンキツ園の維持発展のためには、中・小規模農家を対象とした省力化および軽作業化技術の開発が必要であると考えられる。

2) 生産基盤

ミカン園の主産県別の傾斜度別面積割合¹³⁾を第1表に示す。ミカンは、傾斜5度以上の傾斜地で全体

第1表 温州ミカン園の栽培面積と傾斜度別面積割合 (主産県)

	結果樹面積 (ha)	傾斜度別面積割合 (%)		
		5度未満	5～15度	15度以上
全国	69,300	23	35	42
愛媛	9,570	13	20	67
和歌山	8,380	16	23	61
静岡	7,430	24	39	37
熊本	6,170	18	45	37
佐賀	5,460	24	45	31

資料：農林水産省果樹花き課調べ (平成4年)

の77%が栽培されており、代表的な傾斜地果樹である。しかも、傾斜15度以上の急傾斜地が全体の42%を占め、その中でも栽培面積が全国1、2位の愛媛・和歌山両県では傾斜15度以上の急傾斜地園が各々67%、61%と高い比率を示す。ちなみに、生産量がミカンに次いで大きいリンゴでは、傾斜5度未満の園地が全栽培面積の65%を占め、傾斜15度以上の急傾斜地で栽培されている面積は7%にすぎない¹²⁾。

この生産基盤の差が作業機の導入に大きく影響している。例えば、病害虫防除用のスピードスプレーヤの利用状況でみると、リンゴ園では全面積の約80%で利用されているが、ミカン園では1.7%にすぎず¹³⁾、ミカン園における機械化の立ち後れが顕著に現れている。しかも、園地は小規模で分散しており、経営の効率化・規模拡大が進まない原因の一つ

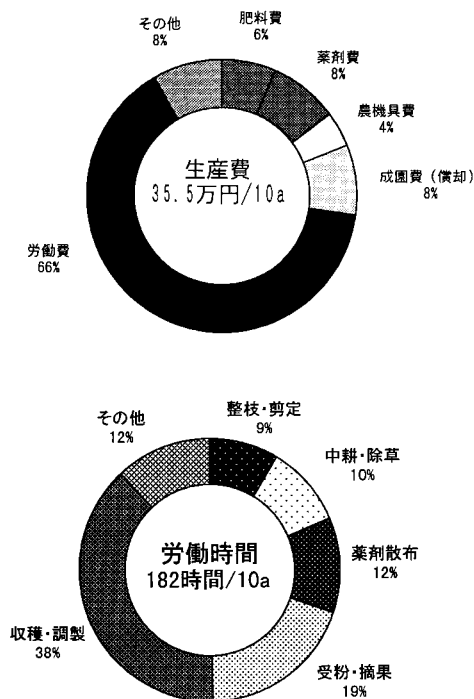
になっている。

なお、本稿では傾斜地区分の名称として、傾斜勾配が5度未満を平坦地、傾斜5度以上15度未満を緩傾斜地、傾斜15度以上25度未満を急傾斜地、傾斜25度以上を急峻傾斜地と呼ぶ。

3) 労働時間と生産費

第3図に、ミカンの10a当たりの労働時間と生産費¹⁴⁾を1990年から1994年にわたる5年間の平均値で示す。10a当たりの労働時間はおよそ180時間であり、機械化の進展している稲作の約4.5倍である。労働時間の内訳をみると、収穫・調製作業が最も大きく全体の38%を占め、次いで摘果作業の19%、薬剤散布作業は12%である。また、量的な労働時間の長さのみならず、足場の悪い傾斜地での上をむいての作業が多いことから、質的な面での労働の過重感も強い。

10a当たりの生産費は35.5万円であり、そのうち労働費が66%と全体の約2/3を占める。肥料費は6%、薬剤費は8%である。機械化の進展に関わっている農機具費は4%と少ない。すなわち、現状のカンキツ生産では、主に手作業に依存しているため、長時間労働が強いられており、低コスト生産を図るためには、生産費の多くを占める労働時間の削減が必要である。



第3図 ミカン生産の10a当たり労働時間と生産費 (1990～1994年の平均値)

2 急傾斜地カンキツ園の機械化体系に関する既往の研究

急傾斜地カンキツ園の機械化作業体系の研究は、1960年代後半から70年代前半にかけて精力的に行われた¹⁵⁾⁻¹⁹⁾。これは、国内産ミカンに国際競争力を付与することと、加工品の生産による消費の拡大を図ることを目的とし、全労働時間の約4割を占める収穫運搬の機械化体系を開発することであった。

これらの研究から、四国農業試験場では作業道つき斜面畑あるいは耕作道型斜面畑が考案され²⁰⁾、幅約2mの作業道を等高線方向のテラスに配置し、作業道の法面に相当する斜面に樹木を列状に植栽する方式を開発し、乗用形車両の導入による運搬作業の省力化が実証された。しかし、1972年以降の過剰生産による価格の下落によってミカン産業は量産から高品質への技術変革を余儀なくされるとともに、大半を占める既成園に対しては大幅な改造や改植が必要とする場合が多く、生産者の経済的負担が大きくなるために広く採用されなかった。

一方、急傾斜地カンキツ園では、農道の役割を代替し得るものとして、単軌条運搬機 (通称モノレール) が開発され、現状の既成園に適合しやすい特徴を有していることから広く普及した^{21),22)}。これは設置のための樹木の伐採が少なく、傾斜度、造園形態および栽植密度などの変化に対して、作業性能が安定していることが主な理由である。鶴崎²³⁾は、カンキツの収穫作業におけるモノレール利用法を労働科学的分析手法を用いて明らかにし、傾斜が急で運搬距離が長いほどモノレール運搬の省力効果が大きいと述べている。また、糸川ら²⁴⁾は、荷物専用で人の乗車が禁止されていた単軌条運搬機に対して、乗車可能な乗用単軌条運搬機を開発し、運搬作業の軽作業化が図れる乗用単軌条運搬機の商品化に大きく貢献した。さらに、モノレールを樹上に設置し、防除・収穫作業の自動化を狙った研究^{25),26)}も進められている。しかし、施設費の高いモノレールは傾斜上下方向の運搬に限られ、急傾斜地カンキツ園の全面的な作業改善には至っていない。

急傾斜地園の管理作業の中で運搬に次いで省力化・軽作業化が要望されている薬剤散布作業については、灌水用のスプリンクラの散水機能を利用した薬剤散布方法が研究され^{27),28)}、実用化されている。

山下らは²⁹⁾、スプリンクラによる薬液の散布性能を明らかにするとともに、その省力効果や実用性を明らかにしている。しかし、葉裏への薬液付着が劣るためハダニ等の駆除に問題があること、散布量が多く環境汚染が問題になること、施設費と薬剤費が大きい等から、その利用面積は全体の7%¹³⁾にとどまっている。現状では、ほとんどがホースとノズルを両手で持って斜面を歩く労働強度の大きい手散布である。

3 本研究の目的と取り上げる機械化体系

1) 本研究の目的

本研究の主目的は、急傾斜地カンキツ園において作業の省力化および軽作業化を実現する機械化体系を開発することである。具体的な目的を示すと以下のようなになる。

- ①低コストな園内作業道の造成方法を開発すること。
- ②作業道から薬剤散布作業が可能な病害虫防除機を開発すること。
- ③作業道から肥料散布作業が可能な肥料散布機を開発すること。
- ④作業道を利用した効率的な収穫作業を明らかにすること。
- ⑤開発した園内作業道の造成方法を生産現場で実証すること。
- ⑥開発した機械化体系を生産現場に導入して評価すること。
- ⑦生産者の作業体系選択過程を明らかにすること。
- ⑧開発した機械化体系の導入条件を明らかにすること。

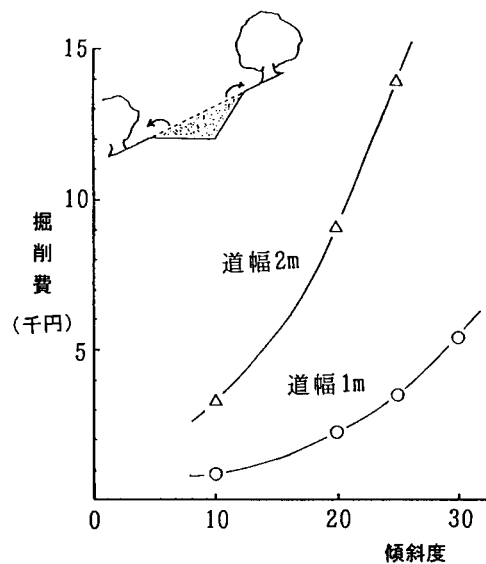
2) 機械化体系導入に伴う園地改良方式

急傾斜地カンキツ園に機械化体系を導入するためには、作業機が走行できる作業空間が不可欠である。しかも、間伐や縮伐により作業空間が確保されても、斜面での走行では、暴走、転倒、転落等の危険が介在する。このため、作業機が安定して走行できる園地改良が前提条件になる。

急傾斜地カンキツ園の園地改良には、大規模な切り盛り土によって傾斜地を緩傾斜に整備する方法と、作業機が走行する作業道を整備する方法がある³⁰⁾。

前者については、着工から営農を開始するまでに多くの年数と費用を要することから、受益者の負担が大きい。さらに、生産者の高齢化・後継者不足の進行や経営意識の多様化等から園地改良を行うための地権者の合意を得ること自体が困難になっている⁹⁾。

後者については、作業機が走行できる園内作業道を設置するいわば線工事であることから工事費が前者に比べて大幅に低減される。しかし、園内作業道の造成費は、第4図に示すように園地の傾斜度と道幅によって異なり、当然急傾斜地に乗用形作業機のための幅の広い園内作業道を造成するには、多額の費用³¹⁾がかかる。しかも、掘削法面の段差が高くなり、摘果・採取などの作業がしづらくなることや降雨による法面崩壊の問題も生じてくる。さらに、急傾斜地帯では経営規模の小さい農家が多く、高価な乗用形作業機の導入は過剰投資をまねく恐れがある。



第4図 傾斜度別の作業道掘削費 (10m当たり)
注) 法面角度45度、掘削単価800円/m³

そこで、本研究の対象である傾斜15度以上25度未満の急傾斜地カンキツ園の機械化体系として、土木経費、土壌浸食、機械施設費の面から歩行形の作業機を基幹とする歩行形機械化体系を取り上げる³²⁾。

3) 本研究で取り上げる機械化体系と園地改良法
開発する歩行形機械化体系は、傾斜地での作業であることから安全性を最優先する必要がある。また、園内作業道の整備費との調和に配慮しなければなら

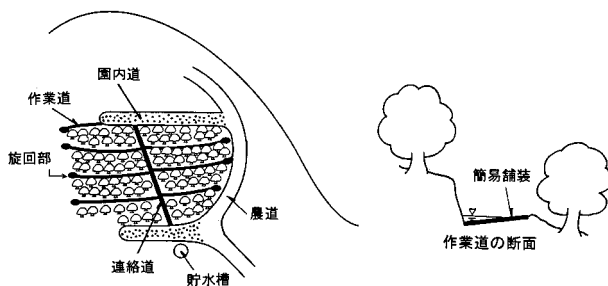
ないことと、果実の消費動向から高品質生産が実現できる作業体系でなければならないことから、作業機の基本仕様は以下のように設定した。

- ①作業機の機体幅は1m以下とする。
- ②走行部は登降坂性能が高く、しかも旋回機動性が高いクローラ式とする。
- ③樹体の高さが作業道の両側で異なるため、防除機および施肥機は片側散布方式とする。
- ④作業は前進走行時のみとする。

次に、以上の歩行形作業機の基本仕様から、第5図に示すような園内改良を行うこととした。園地改良の概要を以下に示す。なお、道幅が1.8m以上で軽トラックが走行できる作業道を園内道と呼ぶ。

- ①園内作業道の配置は、園内の上下方向の連絡道で等高線方向の作業道と園内道および支線農道を結ぶ肋骨形配置[®]とする。
- ②連絡道は、縦断勾配を15度以下とし、道幅を1.3m以上とする。
- ③等高線方向に設ける作業道はできる限り直線状に配置し、道幅を1.0~1.2mとする。また、作業道の両端には作業機が旋回できる直径2~2.5mの旋回部を設ける。
- ④作業道の山側は谷側よりも低くして、排水路の機能を持たせるとともに、路面上を流れる排水が連絡道に集中しないように、作業道の縦断勾配を決定する。
- ⑤降雨の流れによる路面侵食を防止して、作業機の安定走行を確保するため、園内作業道は舗装処理を施す。
- ⑥園内に薬剤散布用の貯水槽等の給水施設を設ける。

作業道の密度については園地の条件によって異なるが、路線密度が高いほど、防除薬液の付着および



第5図 園内作業道の肋骨形配置法

収穫果実の搬出、草刈り作業などにおいて有効であり省力効果は大きいですが、造成経費の上昇、樹冠占有率の低下および単位収量の減少といったデメリットがある。園地条件に左右されるので一概にはいえないが、樹列間の空間が小さく、作業道造成に過大な縮伐を伴う場合は2樹列ごとに作業道を設け、樹列間の空間が大きい場合や列間伐が可能な状態の園地では1樹列ごとに作業道を設けることを基本とした。

Ⅲ 歩行形機械化体系における要素技術の開発

1 序言

開発を目指した作業体系は、急傾斜地カンキツ園に道幅1~1.3mの園内作業道を設置し、歩行形の作業機を開発して重労働の薬剤散布、肥料散布、収穫物の運搬などの作業を機械化することである。

歩行形作業機のために急傾斜地園に設置した園内作業道は、雨水の流れによって路面が侵食されるので、安定走行が阻害され、運転者の安全性を損ねたり疲労度を増大させるばかりでなく、荷傷みの原因にもなる。したがって、園内作業道の表面は舗装処理を施さなければならないが、交通量の少ない園内作業道の舗装に従来のコンクリート舗装やアスファルト舗装を用いると資材費が過大となり経済的に不利で実用的でない。そこで、従来の舗装よりも下級であっても低コストで、現場施工できる舗装技術の開発が必要になる。

作業機については、狭幅な園内作業道に適合する小形化が必要である。また、薬剤散布では、園内作業道の両側の高低差の大きい樹木に対して散布方向が調節できる機構が求められ、肥料散布では、園内作業道から樹冠下に散布できる機構の開発が必要である。

人力作業の採果と運搬からなる収穫作業では、採果作業の労働力、運搬車の大きさ、運搬距離などの園地条件によって収穫作業時間が大きく異なるため、それらの関係を把握する必要がある。

このように歩行形機械化体系を開発するためには、新たな技術を開発しなければならない。本章では園内作業道の簡易舗装法、病虫害防除機、肥料散布機の開発とその試験結果、収穫作業のシステム分

析結果について検討と考察を行う。

2 園内作業道の簡易舗装法の開発

交通量の少ない支線農道や圃場内道等の低コストな舗装法として、道路の路盤強化あるいは路床の強度補強に用いられている土質安定処理を直接表面舗装に用いる方法がある^{33),34)}。永石ら³⁵⁾は、トラクタなどの営農機械を用いて土質安定処理法で舗装する技術を開発しているが、転圧作業が必要であり、狭幅な園内作業道ではこの行程に中・大形機械が導入できず、施工が困難である。

そこで、労力がかかる転圧行程を省くため、土質安定処理の使用資材として、普通ポルトランドセメント（以下、普通セメントと記述）の他に遊歩道等に使用されている土壤凝固剤S剤（メチルセルロース系高分子化合物）を現場で原土と混合して水練りする簡易舗装法の検討を行った^{36),37)}。

1) 簡易舗装法の概略と試験方法

本工法の作業工程を写真1に示す。まず、掘削整形した園内作業道の路面に、普通セメントと土壤凝固剤を散布する。次に、小型トラクタあるいは中耕管理機で原土に混和し、散水する。散水後、中耕管理機あるいは小型トラクタで再び攪拌混合して水練りを行う。最後に、くわ等で表面をなめらかに仕上げる。

簡易舗装法を評価するにあたって、下記の項目を調査した。

(1) 圧縮強度

土壤凝固剤の添加の効果を見るため、原土に対して普通セメント及び土壤凝固剤の配合割合を変えたテストピースを作り、その一軸圧縮強度を測定した。供試した土壤は兵庫県、広島県、香川県、愛媛県、高知県、大分県のカンキツ園の表層10cmの厚さの土壤11点であり、粒度分析（JIS-A-1204）を行った。テストピースは直径5cm、高さ10cmの鉄製円筒に入れて作成し、養生7日後に圧縮試験機（アムスラー型100t）で一軸圧縮強度を測定した。反復数は3回とした。

(2) 路面強度と施工能率

四国農業試験場のカンキツ園に、舗装厚さおよび土質安定資材の配合割合を変えた各種の簡易舗装区を設け、路床土支持力比（現場CBR値）、路面の硬

化状況、耐機械走行性、施工能率を調査した。

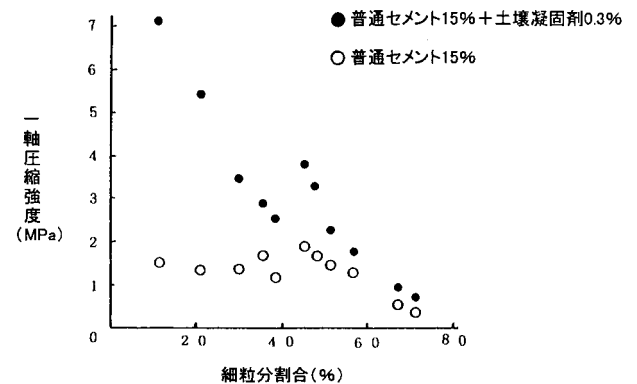
造成に使用した機械は、斜面の掘削に小形バックホー（F型FM-7型、乗用クローラ式、エンジン出力9kW、質量1.2t、車体幅900mm、最大掘削力6kN）、土壌と安定剤の混合に歩行形管理機（M式MMR60型、歩行車輪式、エンジン出力2.5kW、正逆転爪、作用幅600mm）、散布に歩行形散布機（T式BS-500S型、歩行クローラ式、エンジン出力4.3kW、ホッパー容量450L、回転底散布式）であった。

路床土支持力比は球体落下式CBR試験機（球体直径10.4cm、質量4.175kg、落下高さ60cm）を用い、換算曲線を用いて算出した³⁸⁾。路面の硬化状況は山中式硬度計で測定した。耐機械走行性は、質量3,700kgの大型トラクタ（接地圧0.1MPa）走行後の路面の沈下量を測定した。

2) 試験結果および考察

(1) 圧縮強度

供試したカンキツ園の土壤は有機物の混合がほとんどなく、2mm以上の礫が40%を占めるシルト質礫から、0.074mm以下の細粒分割が70%の粘土まで広範囲であった。これらの土壤を骨材として普通セメントを15%混合したテストピースの圧縮強度は第6図に示したように0.4~3.0MPaの範囲となり、細粒分割が60%以上の土壤を骨材とした時の圧縮強度は小さくなった。これに対して、普通セメント15%の他に、土壤凝固剤を0.3%（セメントに対して2.5%）加えて作ったテストピースの圧縮強度は0.7~7MPaとなり、普通セメントのみの混合に対して、土壤凝固剤を加えることにより圧縮強度は1.4



第6図 西日本地域カンキツ園土壤の土粒子割合とテストピースの一軸圧縮強度

注) 細粒分割割合は土粒子径が74 μ m以下の割合

第2表 簡易舗装処理法の違いによる路床土支持力比(現場CBR値)

舗装厚さ (cm)	土質安定資材の配合割合		現場CBR値 (%)	備考
	普通セメント(%)	土壤凝固剤(%)		
10	14.0	0.0	>100	ヒビ発生
10	6.7	0.0	>100	ヒビ発生
10	13.0	0.3	>100	
10	6.5	0.15	95	
7	11.0	0.3	82	
5	13.0	0.3	58	
5	6.5	0.15	40	

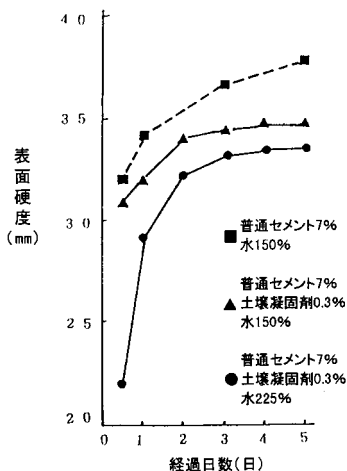
注) 四国農試圃が峰カンキツ園(マサ土)、現場CBR値は施工1か月後の測定値

~4.7倍に増加した。

(2) 路面強度と施工能率

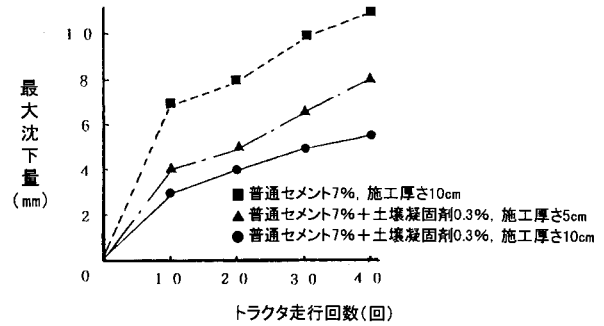
四国農業試験場内のカンキツ園に設置した園内作業道の簡易舗装処理法の違いによる路床土支持力比(現場CBR値)を第2表に示す。普通セメントのみの混合で仕上げにバイブレイタによる転圧処理を施した区は現場CBR値が100%以上の値を示し、硬い路床を得られたが、表面にヒビが生じ路面の剥離を起こすなど仕上がり面および耐久性に難点があった。これに対して、転圧処理をしない土壤凝固剤を混和した区では、仕上がり面は滑らかであった。原土は細粒分割合の少ないマサ土のため簡易舗装の骨材として適しており、普通セメント11%、土壤凝固剤0.3%の混和で舗装厚さが7cm以上であれば、現場CBR値が82%以上を示し、路盤支持力に換算すると0.45MPa以上となり、接地圧が0.05MPaの歩行クローラ式作業機が走行する園内作業道として十分な路盤を得ることができると判断された。

土質安定処理を施してから表面が硬化するまでの経過は第7図に示したように、普通セメントのみの混合区の硬化が速く、水を多めに使用する土壤凝固



第7図 土質安定処理施工後の表面硬度の変化

注) 表面硬度は山中式硬度計の読み、水は対セメント重量比



第8図 トラクタ走行後の路面最大沈下量(施工60日目)

剤混合区が硬化に時間を要したが、夏季では2~3日間後に硬化した。このことから、土壤凝固剤を用いた簡易舗装は夏季では3日以上経過すれば表面が硬化するとみられた。

耐機械走行性における走行回数の違いによる最大沈下量は第8図に示したように、普通セメントのみの混合区の沈下量が大きく、土壤凝固剤を混合すると沈下量は約半分に小さくなり、土壤凝固剤を混和することにより強度が大きくなったと判断できた。施工厚さ5cmでも路盤が強固であれば沈下量はそれほど小さくなく十分な強度が得られた。以上は大型トラクタが40回までの走行値であり、幹線農道では重量の大きい車両が頻繁に走行するため十分な強度が必要となるが、園内作業道では小型機械(接地圧0.02~0.05MPa)が数少なく走行するに留まるため、農道ほどの強度は必要としないのでこの程度で十分であると考えられる。

簡易舗装の各作業の施工時間を第3表に示す。普通セメントの散布は人力でも行えたが、大量であるため運搬と散布が同時に行える歩行形散布機の使用が効果的であった。土壤凝固剤は散布量が少ないため手散布した。普通セメント、土壤凝固剤と土の攪拌・混合は、歩行型管理機を用いてロータリの2回掛けで行った。散水では動力噴霧機と口径8.5mmの

第3表 簡易舗装の所要時間(施工面積100m²、5人組作業)

作業工程	使用機械・方法	所要時間(分)	備考
普通セメント散布	歩行形散布機	26	散布量1,680kg(42袋)
土壤凝固剤散布	手散布	13	散布量 42kg(1.7袋)
攪拌混合	歩行形管理機	42	2回掛け
散水	動力噴霧機	75	散布量2,200kg
水練り	歩行形管理機	65	2回掛け
表面処理	くわ・均平板	25	
総作業時間	—	246(4.1時間)	20.5人時

注) 施工幅1m、道長100m、施工厚さ7cm

ホースを用いて、水が原土と舗装資材に均一に行き渡るようにした。特に斜面では、散水した水が傾斜下方に流れるため、1回に多くの散水が出来ず、作業工程の中では最も多くの時間がかかった。散水後の水練りにもロータリの2回掛けが必要であった。水練り後の表面は、くわや均平板などで平らに平らにした。散水量は土壌の乾燥程度によっても異なるが、100m²当たり2t程度が標準であり、多めの方が作業がしやすく仕上がりも良好であった。

これらの作業に要する作業時間は、施工面積100m²当たり5人組作業で4.1時間であった。

なお、資材費については、園内作業道100m²（舗装厚さ7cm）当たり普通セメント1,680kg、土壌凝固剤42kgであり、これらの購入経費はそれぞれ29,400円、33,600円であり、合計が63,000円となった。これは同面積の生コン購入経費に比べて約70%であった。

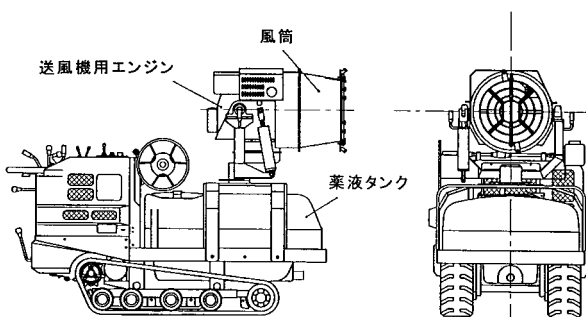
以上の結果から、各地のカンキツ園に一般的に適應できる簡易舗装のための土質安定処理は、原土に対して普通セメントを13%、土壌凝固剤を0.3%（普通セメントに対して2.5%）を混和し、施工厚さを7cm以上とすれば、現場CBR値100%が予想され、安定した路盤強度が得られると判断できた。

3 病虫害防除機の開発

病虫害防除（以下、防除と記述）の機械化を図るため、道幅1~1.3mの園内作業道に適合する風筒式防除機を試作して、その作業特性と省力・軽作業効果を検討した。

1) 風筒式防除機の構造と特徴

試作した歩行形の風筒式防除機を第9図に、主要諸元を第4表に示した。本機は、機体幅が880mm、



第9図 風筒式防除機

第4表 風筒式防除機の主要諸元

全長	1980 mm
全幅	880 mm
全高	1530 mm
機体質量	510 kg
走行・動噴用エンジン	4サイクル・4.9 kW
送風機用エンジン	2サイクル・3.3 kW
走行部	ゴムクローラ
動力伝達装置	静油圧変速機
操向方式	信地・超信地旋回
動力噴霧機	往復式・吸水量 30 l/min
送風機	軸流式・風量 180 m ³ /min
風筒	吐出口径460 mm、ノズル8個
ノズル噴霧量	15~23 l/min
薬液タンク	FRP製・300 l
走行速度	低0~1.1、高0~3.4km/h

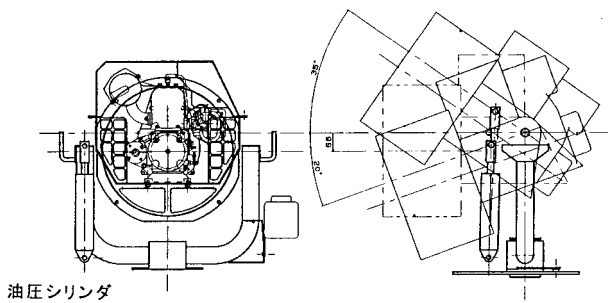
機体質量が510kgの小型クローラ式で、4.9kWの4サイクルガソリンエンジンによって車両走行部と動力噴霧機（吸水量30 L/min）を駆動する。変速装置は、高低2段の速度段を持つH S T（静油圧変速機）であり、走行速度を無段階に調整できる。

旋回半径を小さくするため、操向装置には、差動装置を利用した機械式の「その場旋回機構」^{39),40)}を採用した。左右それぞれに旋回レバーがあり、旋回方向のレバーを引くと、その内側のクローラが停止して外側のクローラのみが駆動して機首を曲げる（信地旋回）。さらに、レバーを引くと止まっていたクローラが逆回転することによって、その場で旋回（超信地旋回）する。

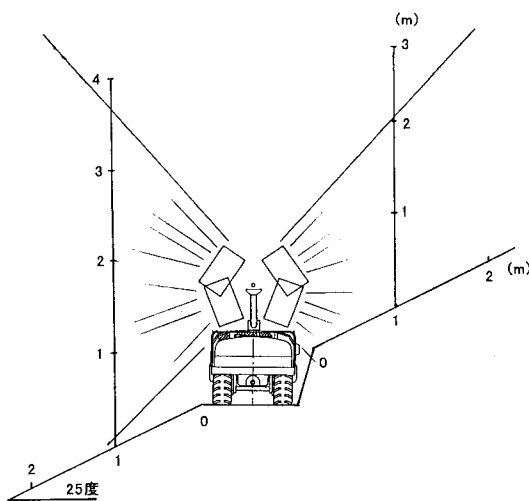
果樹は立体的で、しかも葉層が密であることから、薬液の散布は、送風機の風力を利用した。円筒状の風筒に送風機とノズルを取り付け、動力噴霧機で加圧された薬液を送風散布する。送風機は、軽量なグラス強化ナイロン製で風量が180m³/min（送風機回転数2,900rpm）の軸流式であり、3.3kWの2サイクルガソリンエンジンで駆動する。

散布方向は、風筒全体の向きを変えることによって調節する。左右方向は手動で行い、上下方向は、第10図に示すように油圧シリンダを用いて最大で上向きに35度、下向きに20度まで振ることができる。また、油圧シリンダの動きをリミットスイッチで制御し、自動の振り散布ができる。散布液の外側境界線のなす角（散布角）は100度であり、傾斜25度での散布域を第11図に例示した。自動振り散布の振り回数は22回/minであり、散布むらを避けるため、防除機の作業速度を0.31m/s（1.1km/h）までとした。

薬液タンクは容量300Lの強化プラスチック製で



第10図 風筒の揺動機構



第11図 傾斜25度における散布域

あり、薬液タンクの一部を左右クローラ走行部の間に入れて低重心化を図った。薬液タンク内には、散布液の濃度を均一にするため、余水吐を利用した噴流攪拌装置を取り付けた。

2) 試験方法

(1) 静止転倒角および旋回半径

傾斜地用車両は、機体の安定性と機動性が重視されることから、薬液量を変えて静止転倒角、旋回半径を測定した。静止転倒角については、鋼板上の転倒試験台上に機体を載せ、台面を徐々に傾斜し、傾斜上側のクローラが浮上した瞬間の台面角度を測定した。測定は、風筒を傾斜下方に向け、静止横転倒角と静止前後転倒角について行った。旋回半径については、コンクリート面上で測定した。

(2) 風筒の風速分布と水平距離別の付着度

送風機の風力による薬液の散布状態を把握するため、ここでは、送風機で発生する空気流の風速平面分布と距離別の散布量を無気散布(送風機を停止し、動力噴霧機の圧力のみで散布)と比較調査した。実

験は自然風速の影響を避けるため、室内で行った。

空気流の速度については、熱線風速計を用いて地上高さ1.25m(風筒の中心高さ)の平面上を50cmごとの格子状に測定した。距離と散布量の関係については、機体を0.31m/sで走行させながら、散布方向に1m間隔で感水試験紙を置き、試験紙に付着した液量の程度を標準付着度表と対比して求めた。標準付着度表は、まったく噴霧液が付着していない状態を付着度0とし、付着した噴霧液が流れだしている状態を付着度10として、その間を11段階に分類したもので、付着度の数値が大きいほどその地点の散布量が多いことを示している⁴⁾。機械条件は、走行速度0.31m/s、噴霧圧力1.0MPa、ノズル噴霧量16l/min、振り散布、有気噴霧の送風機回転数2,900rpmとした。

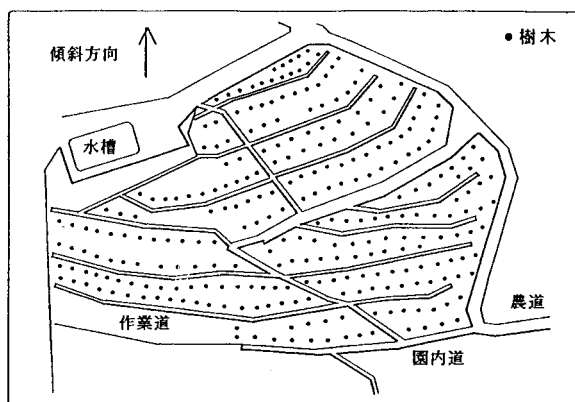
(3) 振り散布の効果と付着性能

振り散布の効果を知るため、風筒の固定散布(風筒を水平状態に保持)と対比して、散布液の付着状態を測定した。測定は室内で行った。測定位置は風筒先3mの地点とし、高さ50cmごとにミカンの枝を取り付け、その葉の両面に感水試験紙を取り付けた。機械条件は、送風機回転数2,900rpm、走行速度0.31m/s、噴霧圧力1.0MPa、ノズル噴霧量16L/minとした。

本機の有効な散布方法を知るため、①1樹列両面散布、②千鳥2樹列両面散布、③並列2樹列両面散布、④1樹列片面散布での散布量と有効付着率を測定した。供試したミカン樹は、樹高2.0~2.3m、樹幅2.8~3.0mであった。試験区①~③は、傾斜17~22度の斜面畑であり、試験区④は階段畑であった。付着度測定点は、ミカン樹1本当たり15カ所(樹冠の東西南北と樹心の5カ所の上中下の3カ所)とし、ミカン樹2本を供試した。各測定点に感水試験紙を葉表と葉裏に配置し、付着度0~2までを無効、付着度3~4を半有効、付着度5~10を有効とし、半有効2枚で有効1枚に換算し調査枚数に占める有効枚数の割合を有効付着率とした⁴⁾。

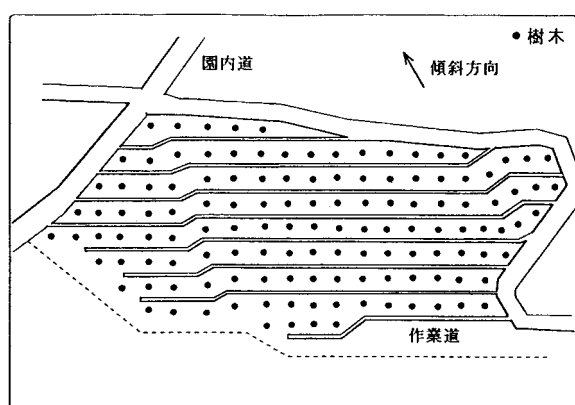
(4) 作業能率と労働強度

簡易舗装の園内作業道が設置されているI園(第12図)およびH園(第13図)において作業能率と労働強度について試験した。これら園地において、風筒式防除機による散布と従来の可搬型動力噴霧機に



平均傾斜度 25度、樹列間距離 3.5m、栽植本数 87本/10a

第12図 I園の概況



平均傾斜度 17度、樹列間距離 2.5m、栽植本数 93本/10a

第13図 H園の概況

よる手散布を比較調査した。測定項目は、噴霧量、有効付着率、作業時間、心拍数である。付着度の測定点は、3) 付着性能と同様であり、5本のミカン樹を供試した。心拍数は、携帯用心拍記憶装置(測定器：V社製VHM1-016)を用いて、安静時および作業時の心拍数を連続測定して分析した。作業の労働強度については、安静時と作業時心拍数の比率である心拍数増加率で分類した。労働強度の区分と心拍数増加率の関係は、軽労働が0~30%、中労働が30~50%、強労働が50~90%である⁴²⁾。被験者は、I園においてはA氏(園主、43才)、H園においてはB氏(四国農業試験場職員、35才)であり、風筒式防除機および防除作業に精通していた。

3) 試験結果および考察

(1) 静止転倒角と旋回半径

第5表に風筒式防除機の静止転倒角と旋回半径を示した。左右横方向の静止転倒角は、薬液量の多少にかかわらず28~29度であった。一方、前後方向の

第5表 風筒式防除機の静止転倒角と旋回半径

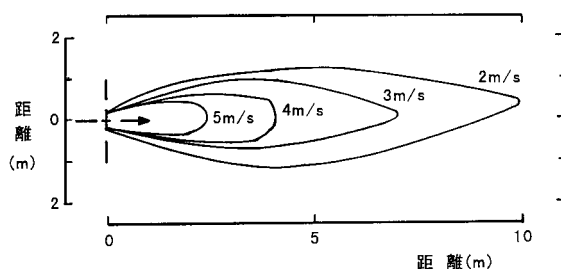
薬液量 (l)	0	300
前方転倒角(度)	35	30
後方転倒角(度)	26	35
左方横転倒角(度)	29	28
右方横転倒角(度)	29	28
左旋回半径(m)	1.0	1.0
右旋回半径(m)	0.9	0.9

静止転倒角は、薬液タンク内の液量の影響が大きく、空車時の後方転倒角は26度と低かった。これは、薬液タンクが前後に長いため、薬液量による重心位置の前後方向の移動が大きく、空車時では重心位置が機体後方に大きく移動したためと考えられる。動的転倒角は、一般に静止転倒角より約10度低い値と推定されるので⁴³⁾、縦断勾配が15度以下の園内作業道では十分安定して走行できると考えられる。なお、後方の静止転倒角が低いことから、橋板でのトラックへの積み込みは、後退走行を選択する必要がある。

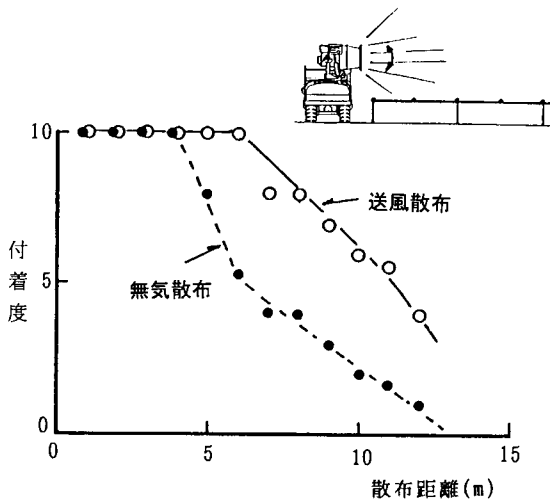
旋回半径については薬液量の影響がなく、乗用形のスピードスプレーヤの約1/3の0.9~1.0mと小さく^{44,45)}、園内作業道端部の直径2mの旋回部においてUターンができる。なお、本機の超信地旋回機構は旋回時の所要動力が大きいため⁴⁰⁾、低速側で旋回する必要がある。

(2) 風筒の風速分布と水平距離別の付着度

第14図に送風機で発生した空気流の風筒先の風速分布を示した。風筒の出口付近の風速は、風筒外周部が中心部より強く平均では18m/sであった。風筒から吹き出される空気流の風速分布は円錐状を示し、風筒により空気流の左右方向の広がりが押さえられて高い直進性を示した。風筒からの水平距離10m地点では風速2m/s、4m地点では4m/sであった。



第14図 風筒先の風速分布

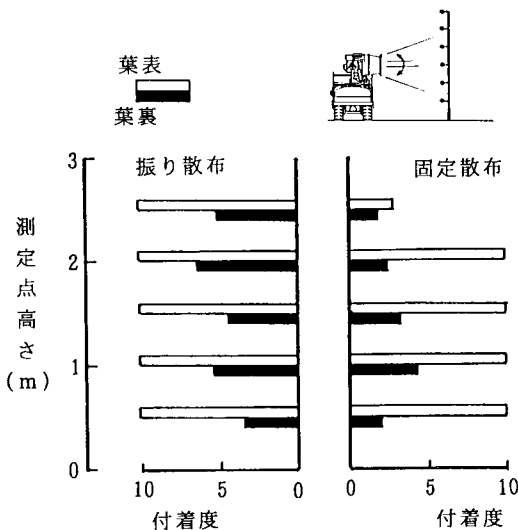


第15図 送風散布の効果
注) 室内、振り散布、走行速度0.31m/s

第15図には送風散布の効果として、送風散布と無気散布の水平距離別の付着度を示した。散布距離4m地点まで、送風散布および無気散布とも付着度は10を示したが、5m地点以上では送風散布の方が付着度は高かった。防除に有効な付着度5以上を示す散布距離は、無気散布では6mであったのに対して、送風散布では11mに達した。これは第14図で示したように直進性の高い空気流によって噴霧液の到達性が高められたためであり、本機は薬液を遠方に散布できると判断された。

(3) 振り散布の効果と付着性能

第16図に振り散布の効果を示した。葉表の付着度は測定高さ2mまで振り散布および固定散布とも付



第16図 振り散布の効果
注) 室内、測定位置：風筒先 3m、走行速度0.31m/s

着度が10であった。測定高さ2.5mでは、固定散布の付着度が2.5と低かったのに対して、振り散布では10を示した。葉裏では、全ての測定点で振り散布の方が固定散布より高い付着度を示した。これは振り散布の方が固定散布より散布域が広く、しかも空気流の変動によって葉の動揺が大きくなり、葉裏への噴霧液の付着が向上したものと推察される。

栽植方式別の散布性能を第17図に示した。1樹列両面散布および千鳥2樹列両面散布の有効付着率は、それぞれ91%、87%と高かった。一方、並列2樹列両面散布や1樹列片面散布では、散布量が1樹列両面散布や千鳥2樹列両面散布より多いにもかかわらず、散布方向に対して樹体裏側での付着度が悪く、有効付着率は70%以下の低い値であった。すなわち、本機の散布能力では樹体に対して両面からの散布が必要であり、1樹列あるいは千鳥2樹列おきに園内作業道が設置されている園地に導入できると判断された。

栽植方式	1 樹列両面	千鳥 2 樹列両面	並列 2 樹列両面	1 樹列片面
散布量 (L/10a)	485	510	555	651
有効付着率 (%)	91.3	86.7	68.3	70.1

第17図 栽植方式別の散布性能

(4) 作業能率と労働負担

手散布と風筒式防除機の作業状況を写真2に示し、作業能率および労働強度を第6表に示した。散布量は各試験区とも500L/10aを基準とした。なお、風筒式防除機の散布では、作業道下方散布の場合には水平から下向きに、作業道上方の場合には水平から上向きに振り散布を行った。

手散布および風筒式防除機による散布とも有効付着率は90%前後で、良好な散布状態であった。風筒式防除機による散布では作業幅が両園で異なるため、走行速度およびノズル噴霧量を変更して作業を行った。すなわち、2樹列両面散布のI園ではノズル噴霧量を21.3L/minと多くして走行速度を0.22m/sと遅くし、1樹列両面散布のH園ではノズル噴霧量

第6表 防除作業の作業能率と労働負担

園地	I園		H園	
	風筒式	手散布	風筒式	手散布
散布方法				
散布量 (l/10a)	505	439	495	506
有効付着率 (%)	86.7	91.3	91.2	90.8
走行速度 (m/s)	0.22	-	0.31	-
作業幅 (m)	3.2	-	2.0	-
作業時間 (min/10a)	36	54	41	63
圃場作業効率 (%)	66	-	65	-
作業能率 (a/h)	17	11	15	10
作業時心拍数 (b/min)	109	135	88	123
安静時心拍数 (b/min)	76	76	66	66
心拍数増加率 (%)	43	78	33	86
労働強度	中	強	中	強

注) 風筒式防除機の散布方式：I園は千鳥2樹列両面、H園は1樹列両面

を18.4 L/minと少なくして走行速度を0.31m/sと速めた。この結果、両園とも10a当たりの散布量が約500Lで作業時間は約40分であった。手散布の10a当たりの作業時間は両園とも約60分であり、風筒式防除機の利用によって作業時間が33%短縮されたことになる。

風筒式防除機の作業能率は15a/h、圃場作業効率は約65%と高い値を示した。薬液タンク容量が300Lと少ないにもかかわらず、圃場作業効率が高いのは、I園では園内に4tの貯水槽があり、H園では園内に給水管が配管されており、両園とも給水時間とそのための移動時間が短かったためである。

心拍数増加率については、手散布が78~86%と大きく、労働強度は強労働の区分であった。一方、風筒式防除機による散布作業の心拍数増加率は33~43%と慣行区より明らかに小さく、労働強度の区分は中労働となり、労働強度が軽減されることが確認できた。

(5) 負担可能面積および使用上の注意事項等

以上より、風筒式防除機は、道幅が1m以上で縦断勾配が15度以下の園内作業道が1樹列おきにあるいは千鳥2樹列おきに設置されている園地に適用できることが分かった。本機の負担面積は、1日の作業時間を8時間、防除適期を2日とすると2.4haであり、安全率を考慮して適正な導入規模は2haと考える。

本機の使用上の注意事項としては、①噴霧液のドリフトや蒸発を避けるため、湿度が比較的高く、風が少ない早朝や夕方に散布する。②散布角が制限されていることから、樹高は2.5m以下になるように

剪定・整枝で整える。③園内に貯水槽などの給水施設を設けて作業効率を上げることなどである。

なお、試作した風筒式防除機は、写真3に示すように1996年から市販化されて、風筒が上下だけでなく油圧で左右に回転する機種も販売されている。

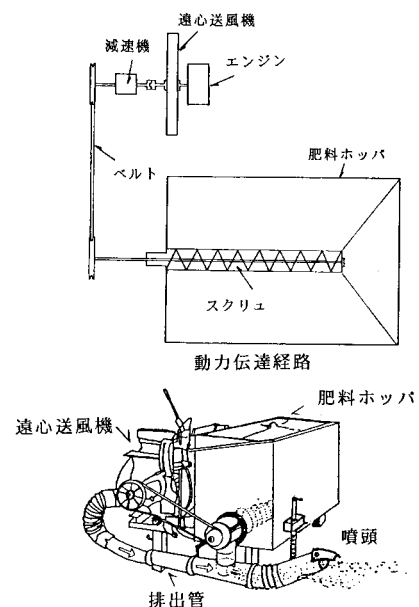
4 肥料散布機の開発

肥料散布作業の機械化として、急傾斜地カンキツ園に設置した道幅1.0~1.3mの園内作業道に適合する肥料側方散布機^{46),47)}を試作し、その作業特性と省力・軽作業効果について検討した。

1) 肥料側方散布機の構造と特徴

施肥作業がカンキツ生産の総労働時間に占める割合は4~5%の範囲にあつて必ずしも大きくない¹⁴⁾。このため、試作した肥料側方散布機は歩行形のクローラ式運搬車(C社製BFC601LD、全幅675mm、積載量500kg、リフト装置付き)を汎用利用する方式とし、低コスト化を狙った。

試作した散布装置を第18図に、主要諸元を第7表に示した。散布装置は、2サイクルガソリンエンジン、遠心送風機、肥料繰り出しスクリュおよび肥料ホッパから構成される。肥料ホッパ内の肥料は、スクリュによって排出管へ繰り出された後、遠心送風機により噴頭から送風散布される。噴頭はデフレクタを取り付けた2頭口であり、散布口を機体の斜前45度方向に向けて配置した。斜面への肥料散布に対



第18図 肥料側方散布装置

第7表 肥料側方散布置置の主要諸元

全長	1650 mm(1930 mm)
全幅	900 mm(900 mm)
全高	900 mm(1420 mm)
機体質量	85 kg(485 kg)
エンジン	2サイクル・1.5 kW
送風機	遠心式・風量11 m ³ /min
繰り出し装置	スクリュ・径100 mm
減速装置	機械式・減速比 1/80
肥料ホッパ容量	100 l
肥料最大吐出量	25 kg/min

注) ()内の数字は、歩行形運搬車搭載時

応するため、噴頭は手動で上下方向に調節できるようにした。肥料はペレット状および粒状とし、ホッパ容量を100lとした。吐出量が最大で25kg/minとなるようにスクリュの口径と回転数を設計した。

散布置置の脱着方法は、写真4に示すように格納時はフレーム状の架台で支持し、装着時には架台の開口部から歩行形運搬車を挿入し、運搬車の荷台を上昇させることによって架台から切り離して搭載する。荷台への固定にはあおり止めフックを用いた。

2) 試験方法

(1) 静止転倒角および旋回半径

2)の(1)と同様に測定した。

(2) 散布性能

散布パターンを知るため、本機の進行方向と直角方向へ受皿を一行に並べ、各受皿に入った散布材料を採取して、その分布状態および散布距離を調査した。ペレット状の有機肥料(直径3mm,長さ5mm,粒重50mg)と粒状の化成肥料(粒径3mm,粒重35~80mg)を供試し、送風機のエンジン回転数7,200rpm,デフレクタは水平にして試験した。

(3) 作業能率と労働負担

I園において、肥料側方散布機と従来の手散布による肥料散布作業の作業時間、心拍数、作業姿勢の比較試験を行った。心拍数と作業姿勢については、被験者に携帯用心拍記憶装置と携帯用作業姿勢測定装置(VINE社製)とを装着して、連続測定して分析した。労働強度の表示は、Ⅲ32)の(4)と同様である。被験者はA氏であり、肥料側方散布機および施肥作業に精通していた。

3) 試験結果および考察

(1) 静止転倒角と旋回半径

第8表に、肥料側方散布機の静止転倒角と旋回半

径を示した。前方および後方の静止転倒角は肥料ホッパ内の肥料が多いほど空車時よりも小さい値を示し、最小値は積載量100kgのときの27度であった。横方向の静止転倒角も同様に積載量が多いほど転倒角は小さくなり、とくに右方横転倒角は積載量100kgのとき21度と低かった。これは、本機が歩行形運搬車を汎用利用としたため、肥料タンクの位置が高く、しかも動力伝達の関係で肥料ホッパを機体右側に置いたためである。しかし、これらの静止転倒角では、縦断勾配が15度以下で、横断勾配が5度以下の園内作業道では、安定した走行が可能であると判断される。

旋回半径は肥料の積載量の影響が少なく、風筒式防除機よりやや大きい1.3mであった。

(2) 散布性能

第19図に、粒状およびペレット状肥料の落下量分布を例示した。噴頭が2頭口であるため、散布距離0.5mと3m前後で散布量が大きくなった。散布量比率の95%累積値までを有効な散布距離⁴⁾と見なすと、ペレット状肥料は5mであり、粒状肥料は4.6mに達した。斜面では、斜面下方への肥料成分の移動による施肥効果が期待できることから、有効散布幅は5mと判断される。

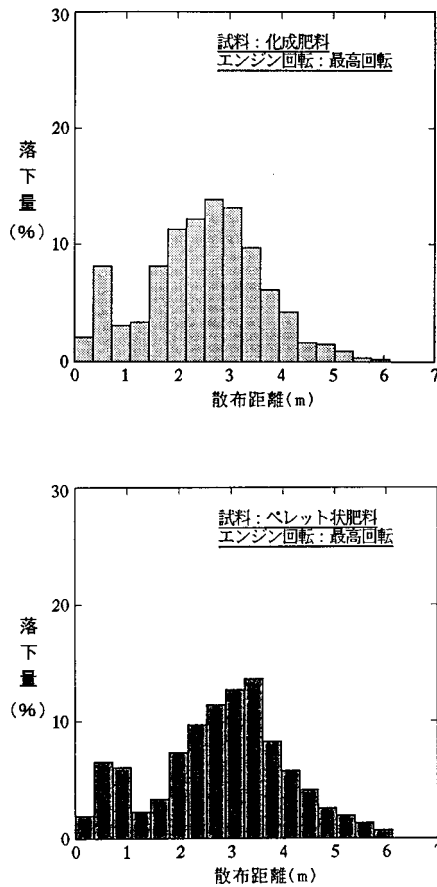
なお、噴頭先のデフレクタの向きを下向きに調整することにより、散布距離を短くできる。このため、1樹列おきに園内作業道が設置されている作業幅が狭い園地においても十分適用できる。

(3) 作業能率と労働負担

肥料散布置置の歩行形運搬車への脱着は、工具なしで1人で行え、所要時間は1.5分と短時間であった。また、肥料の投入口も大きく、肥料の補給も容易に

第8表 肥料側方散布機の静止転倒角と旋回半径

積載量(kg)	0	100
前方転倒角(度)	37	27
後方転倒角(度)	32	28
左方横転倒角(度)	29	30
右方横転倒角(度)	30	21
左旋回半径(m)	1.3	1.3
右旋回半径(m)	1.3	1.2



第19図 肥料の落下量分布

行うことができた。

I園における手散布と肥料側方散布機の作業状況を写真5に示し、作業能率と労働負担を第9表に示した。肥料側方散布機の10a当たりの作業時間は肥料の補給時間を含めて13minであり、作業能率は45a/h、圃場作業効率は45%であった。一方、手散布による10a当たりの作業時間も13minであり、肥料側方散布機による肥料散布の作業時間の短縮効果は認められなかった。これは、本機が片側散布であることから、散布行程までの移動時間が多くかかったためである。圃場作業効率の向上として、走行速度の増大による移動時間の短縮が考えられるが、安全面から避けるべきである。

作業者の心拍数と作業姿勢では、両者には大きな差が表れた。手散布の心拍数増加率は78%と大きく、労働強度は強労働の区分であった。一方、肥料側方散布機による散布作業の心拍数増加率は手散布より明らかに小さい36%であり、労働強度は中労働の区分であった。作業姿勢においても手散布では、写真

第9表 施肥作業の作業能率と労働負担 (I園)

散布方法	散布機	手散布
走行速度 (m/s)	0.44	-
作業幅 (m)	6.4	-
作業時間 (min/10a)	13.3	12.9
圃場作業効率 (%)	44	-
作業能率 (a/h)	45	47
作業時心拍数 (b/min)	109	142
安静時心拍数 (b/min)	80	80
心拍数増加率 (%)	36	78
労働強度	中	強
立ち姿勢作業割合 (%)	89	59

5に示すような中腰姿勢が多く、立ち姿勢が全作業時間の59%にすぎなかった。しかし、散布機の利用では、立ち姿勢割合が89%にも達し、労働負担の大きい中腰姿勢の割合が小さかった。

以上、本機は風筒式防除機と同様に道幅が1m以上、縦断勾配が15度以下の園内作業道が1樹列あるいは2樹列おきに設置されている園地に適合し、施肥作業の軽作業化を図ることができる見通しを得た。なお、使用できる肥料はペレット状および粒状肥料である。

5 収穫作業のシステム分析

カンキツ収穫作業は、採果する作業員の人数、運搬車のコンテナ積載量、待機する軽トラックまでの運搬距離により作業全体の効率が影響を受ける。そこで、システム分析手法により、園内作業道とクローラ式運搬車の組み合わせによるカンキツ収穫作業に関わる要因の影響程度を検討した。そのため、まず、カンキツ収穫作業のモデル化を図り、モデルをオブジェクト指向でプログラム記述し、それを用いてシミュレーションを実施し、カンキツ収穫作業システムの動態を分析した。

1) 収穫作業の概要

一般に、園内作業道を移動するクローラ式歩行形運搬車を使ったカンキツの収穫作業は、複数の作業者の組作業で行われる。運搬車の積載量まで採果が進むと、作業者の一人（オペレータ）が運搬車を操作して待機する軽トラックまで移動し、コンテナの

積替えを行った後、採果位置まで戻る。この間、他の作業員（補助作業員）は採果を継続し、コンテナに果実を入れ続ける。このようにして行われる収穫作業を対象に、システム分析を実施するが、各作業方法の詳細と作業関連数値の調査結果等を以下に示す。

なお、急傾斜カンキツ園における収穫作業や運搬作業について鶴崎ら⁴⁹⁾⁻⁵¹⁾が詳細な検討をしており、分析にはその結果をも用いている。

(1) 採果作業

採果ははさみを使った手作業であり、作業員の熟練度や樹木になる果実数によって作業能率が異なる。さらに、1樹当たりの果実数は年による変動とともに、樹間変動も大きい。

そこで、年齢30歳から50歳の比較的熟練度の高い作業員が、2.0mから2.5mの高さの樹で1個当たり100gから120gの果実を採果する場合の作業能率を調査したところ、平均14.5個/min、標準偏差2.7個/minの正規分布となった。ただし、特に注意深く採果される極早生ミカンのデータは除いた。

(2) 樹当たり果実数

1樹当たり収穫果実数は品種、栽植密度、年次、樹齢、根域環境等により大きく変動する。そこで、変動幅を求めるため、中生温州である南柑20号を10a当たり80本から90本栽植された園での数年間の調査結果⁵²⁾を整理したところ、収穫果実数は樹当たり平均収穫個数320.9個、標準偏差79.8個の正規分布に従う結果を得た。さらに、収穫果実の1個当たり果重を調査したところ、平均108gで標準偏差15.5gの正規分布に従う結果となった。

(3) 運搬作業

採果された果実は、長さ523mm、幅364mm、深さ307mmのコンテナに順に並べて積込まれる。1コンテナに積込める果実個数を調査したところ、ほぼ180個であった。果実で一杯になったコンテナは、側にある運搬車へ積載可能個数になるまで積込まれる。

運搬には、道幅1mから1.3mの園内作業道を走行できるクローラ式運搬車が使用される。検討対象のクローラ式運搬車は、写真6、第10表に示す歩行形であり、積載容量が6コンテナと10コンテナの2種類とする。なお、6コンテナ積載用は市販機であり

第10表 クローラ式小型運搬車の諸元

項目		市販機	試作機
車体寸法 (mm)	全長	1030	2100
	全幅	675	1030
	全高	1110	1100
荷台寸法 (mm)	長さ	1105	1100
	幅	530	950
車体質量(kg)		265~270	510
エンジン出力(kW)		4.5	7
コンテナ積載容量(個)		6	10

市販価格約45万円、10コンテナ積載用は園内作業道で使用できるよう大形の運搬車として試作したもので、推定価格約60万円である。

これらの運搬車が最大勾配15度以下の園内作業道を移動する速度を調査したところ、軽トラックへのコンテナ積替え時間をも含めると28.8m/minであった。

(4) 運搬距離

歩行形運搬車がコンテナを運搬する距離は、果樹園の区画形状や園内作業道の配置、軽トラックが走行可能な道路の果樹園区画への取付け位置によって異なる。

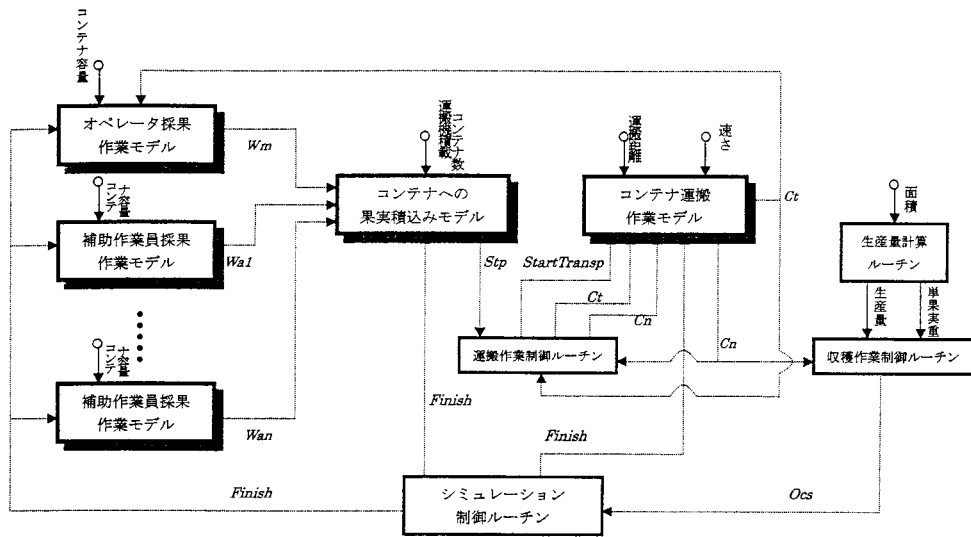
そこで、果樹園区画を20aとし、園中央に配置した連絡道から左右に、2樹列に1本の作業道を肋骨形に配置した果樹園を対象とし、採果中作業道両側3樹毎にクローラ式運搬車が待機するものとして、果樹園区画入口の連絡道までの平均往復距離を計算したところ、65mであった。

これは果樹園区画内の平均往復距離であり、軽トラックが区画入口まで進入できる場合を想定した値である。しかし、果樹園地の地形や取付け道路事情によっては、園区画から離れた位置までしか軽トラックが進入できず、運搬車が園区画を離れて軽トラック位置まで運搬しなければならない場合もあるので、ここでは、65mを最短の平均運搬距離とし、100m、150m、200mの運搬距離について検討する。

2) 収穫作業のモデル化

(1) モデルの構成と機能

策定したカンキツ収穫作業分析用システムモデルは、第20図に示すように、オペレータと補助作業員の採果作業モデル、コンテナへの果実積み込みモデル、コンテナ運搬作業モデル、運搬作業制御ルーチン、生産量計算ルーチン、収穫作業制御ルーチン、シミ



第20図 カンキツ収穫作業の全体モデル

シミュレーション制御ルーチンで構成される。

以下に、第20図に示す各サブモデルや各制御ルーチンの機能の概略を説明する。オペレータと数名の補助作業員ごとの採果作業モデルには、シミュレーション制御ルーチンから終了信号が与えられるまで採果作業を続け、コンテナが一杯になるとそれぞれの採果作業モデルからコンテナへの果実積み込みモデルへ信号を送る機能を与える。しかも、オペレータ採果作業モデルでは、運搬車が運搬作業を開始できる状態になれば、オペレータは採果作業を中断し運搬作業に従事するように、コンテナ運搬作業モデルからの信号を受け取る機能を付加する。

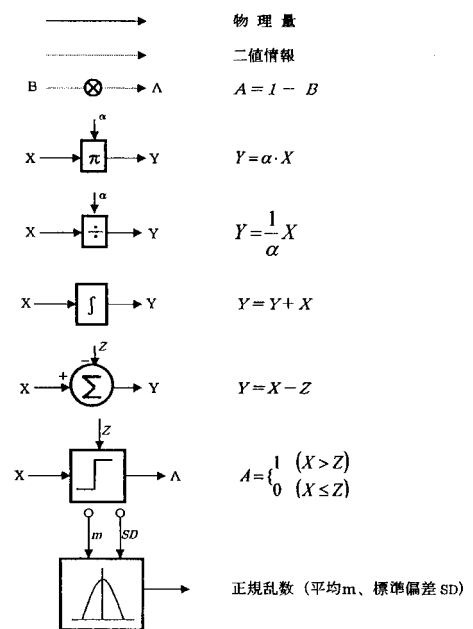
コンテナへの果実積み込みモデルは、シミュレーション開始後シミュレーション制御ルーチンからの終了信号が与えられるまでの間、各採果作業モデルから受け取るコンテナ数を計数し、運搬車のコンテナ積載容量になると、運搬作業制御ルーチンへ信号を出す。

コンテナ運搬作業モデルは、シミュレーション制御ルーチンからの終了信号が出ない限り、運搬作業制御ルーチンとの間で信号のやり取りをしながら、軽トラック待機場所まで運搬車でコンテナを運搬する状況をシミュレートし、その結果を集計のための信号として収穫作業制御ルーチンへ送る。

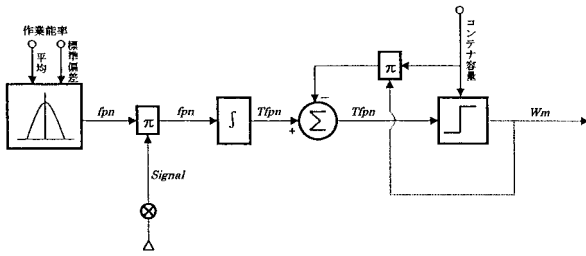
生産量計算ルーチンは、与えられた区画の果樹園から期待できる生産量を算出して収穫作業制御ルーチンに与える働きをし、収穫作業制御ルーチンは、

収穫済みの果実量と生産量を比較して、収穫量が生産量に達した時点で信号をシミュレーション制御ルーチンへ送る。さらに、運搬作業制御ルーチンは、運搬車の空状態や運搬作業状態を判断して、コンテナ運搬作業モデルの動作を制御する信号を出す働きをする。シミュレーション制御ルーチンは、各モデルやルーチンの開始や終了、さらには作動順序を管理する。

なお、各作業モデルの機能を記述するために用いた記号を第21図に示す。



第21図 記号の説明

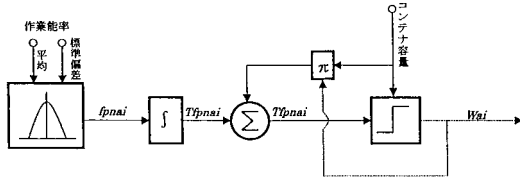


第22図 オペレータ採果作業モデル

```

operatorPick
| m s fpn signal1 signal2 |
m := 14.5.
s := 2.7.
f_pn := NormalRandom mean:m sd:s.
signal1 := ChangeSignal cgSign:Ct.
f_pn := f_pn * signal1.
TimeOpp := TimeOpp + ( DT * signal1 ).
T_fpn := T_fpn + f_pn.
( T_fpn >= CCF )
  ifTrue:[ W_m := 1.
           T_fpn := T_fpn - CCF ]
  ifFalse:[ W_m := 0].
    
```

第24図 オペレータ採果作業モデルのプログラム



第23図 補助作業員採果作業モデル

(2) 採果作業モデル

クローラ式運搬車による運搬作業と採果作業の両方を担当するオペレータと、採果作業にのみ専念する補助作業員それぞれの採果作業モデルを第22図、第23図に示す。

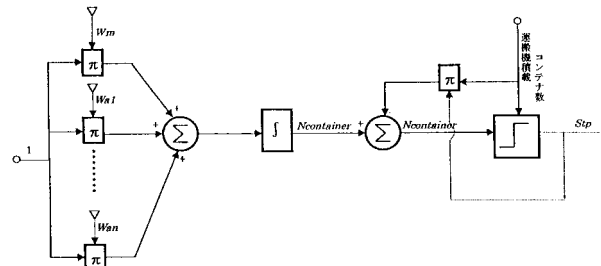
第22図のオペレータ採果作業モデルでは、与えられた採果作業能率の平均値と標準偏差に従う正規乱数を発生し、オペレータが運搬作業中でなければSignalが1となるので、それを単位時間に採果できる果実数f_{pn}とする。f_{pn}はコンテナに積込める果実数に至るまでT_{fpn}として積算される。T_{fpn}がコンテナ容量に達するとW_m信号を1として、運搬可能なコンテナが存在することを発信し、コンテナ1個分のT_{fpn}を引いて、新たな積算果実数に書き換える。

第23図に示す補助作業員の採果作業モデルでは、運搬作業に従事する必要がないので、モデル内でSignal信号を扱っていない。それ以外は、オペレータ採果作業モデルと同じ機能を持ち、運搬可能なコンテナの存在を伝える信号W_{ai} (iは補助作業員識別番号：i=1,2,...) を発信する。

なお、オペレータ採果作業モデルをオブジェクト指向環境Visual Smalltalkでプログラム化したものを第24図に示す。

(3) 果実積み込みモデル

コンテナへの果実積み込みモデルは第25図に示すように、オペレータと補助作業員の採果作業モデルから、容量一杯まで果実が積み込まれたコンテナの存在



第25図 果実積み込みモデル

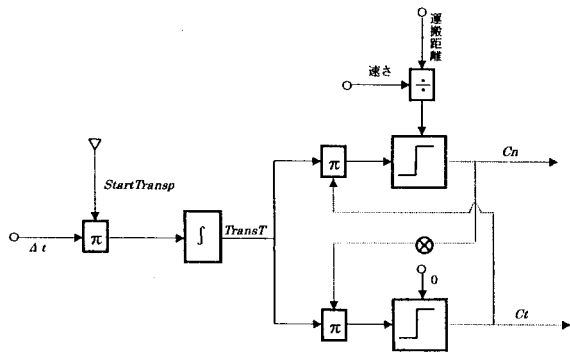
を示す信号が出るので、それらを受けて、運搬可能なコンテナの総数をN_{container}として積算する。運搬車に積載できるコンテナ数は、運搬車の大きさにより決まっているので、N_{container}が積載可能なコンテナ数に達すると、運搬作業を開始可能とする信号St_pを1にすると同時に、運搬可能コンテナ総数から運搬コンテナ数を減じて、新たなN_{container}に書き換える。

なお、St_p信号は第20図に示すように、運搬作業制御ルーチンに送られ、コンテナ運搬作業モデルの動作を制御する信号の生成に使われる。

(4) コンテナ運搬作業モデル

コンテナ運搬作業モデルを第26図に示す。運搬作業状況を示す信号StartTranspが1である間、単位時間がTransTに積算され、運搬時間を計算する。運搬作業に入り運搬時間の積算が開始されると、運搬作業中であることを示すため、C_tを1にする。さらに運搬作業が進み、運搬距離と運搬車の平均速度から求めた運搬所要時間に至ると、運搬完了信号の一つであるC_nを1にすると同時に、運搬作業中であることを示す信号の一つであるC_tを0にする。

しかし、C_tが0になると、同時に運搬時間も0になるので、C_nも0となり、TransTの値は0より大きいため、再びC_tが1に戻ってしまう。この現象を



第26図 コンテナ運搬作業モデル

防ぐため、第20図に示すように運搬作業制御ルーチンを設け、Stp信号とCt,Cn信号を比較検討して、運搬作業が完了したことが確認できると、StartTransp信号を0にして、コンテナ運搬作業モデルに与える。

なお、コンテナ運搬作業モデルと運搬作業制御ルーチンの機能をプログラム化したものを第27図に示す。

他のモデルやルーチンについても同じようにまとまりを持ったmethodとしてプログラム化しており、各methodを並列して処理させることによりシミュレーションできる。

3) シミュレーション

1分を単位時間としてシミュレーションを実施し、果樹園区画内の全果実が収穫されるまで継続することにより、所要作業時間を算出する。なお、モデルで用いている正規乱数は、現実には有り得ない極端な数値の発生を避けるため、平均値±(標準偏

```

transport
  [sigT sigT1 needT]
  sigT := ChangeSignal new checkTransport:StartTransp.
  needT := DTPT / AVV.
  TransT := TransT + (DT * sigT).
  TimeOpt := TimeOpt + (DT * sigT).
  StartTransp := sigT.
  (TransT > 0)
  ifTrue:[ Ct := 1 ]
  ifFalse:[ Ct := 0 ].
  (TransT >= needT)
  ifTrue:[ Cn := 1.
           Ct := 0.
           TransT := 0 ]
  ifFalse:[ Cn := 0].

checkTransport: signal
  [sign]
  sign := signal.
  (sign = 0)
  ifTrue:[ (Ct = 0 and:[Stp = 1]) ifTrue:[ sign := 1]]
  ifFalse:[ (Cn = 1) ifTrue:[ sign := 0. Ct := 0]].
  ^sign.
    
```

第27図 コンテナ運搬作業モデルと運搬作業制御ルーチンのプログラム

差×2)を最大値または最小値とし、この範囲外の値は最大値、最小値に置き換えた。

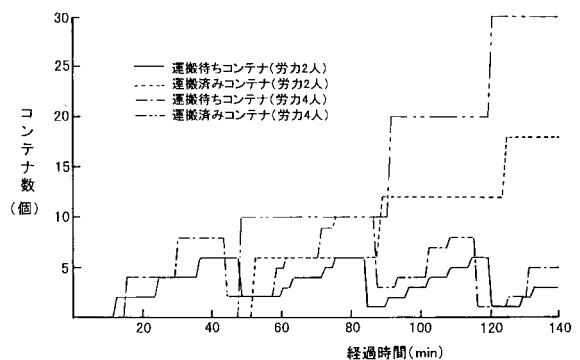
投入される労働力、運搬車のコンテナ運搬能力、運搬距離を組合わせた試験区を第11表のように設定し、各試験区ごとに30回のシミュレーションを繰返した。

得られたシミュレーション結果から、試験区I-1-①とIII-2-①を選んで、果実で一杯になり運搬を待っているコンテナの数と運搬車で運搬済みになったコンテナの数の動きを描くと第28図のようになる。これより、カンキツ収穫作業モデルが所定の機能を備えていることを確認できる。

4) 分析結果および考察

第11表 試験区

番号	労力(人)	運搬コンテナ数	運搬距離(m)
I-1-①	2	6	65
I-1-②	2	6	100
I-1-③	2	6	150
I-1-④	2	6	200
I-2-①	2	10	65
I-2-②	2	10	100
I-2-③	2	10	150
I-2-④	2	10	200
II-1-①	3	6	65
II-1-②	3	6	100
II-1-③	3	6	150
II-1-④	3	6	200
II-2-①	3	10	65
II-2-②	3	10	100
II-2-③	3	10	150
II-2-④	3	10	200
III-1-①	4	6	65
III-1-②	4	6	100
III-1-③	4	6	150
III-1-④	4	6	200
III-2-①	4	10	65
III-2-②	4	10	100
III-2-③	4	10	150
III-2-④	4	10	200



第28図 シミュレーション結果の例

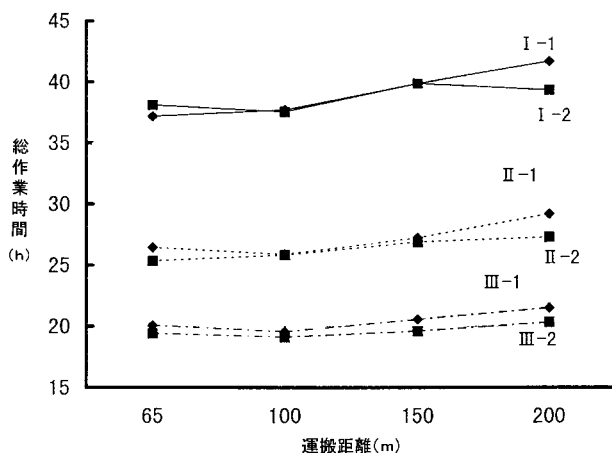
(1) 運搬距離と総収穫作業時間

シミュレーション結果から各試験区ごとの作業時間の平均値、最小値、最大値、標準偏差を求めて第12表に示し、運搬距離により影響される総作業時間の平均値を第29図に示す。図中のⅠがオペレータと補助作業者の2人作業、Ⅱが補助作業者を1人加えた3人作業、Ⅲが4人作業の場合である。

第29図により、運搬距離が65mから100mになっても、労働力や積載量に関わりなく総作業時間は変わらないことが分かる。また、運搬距離が100mを越えることにより、わずかに総作業時間が増す傾向が見えるものの、積載コンテナ数が10個では、運搬距離が150mや200mと長くなっても目立った増加はきたさないことがうかがえる。さらに、積載量が6個

第12表 シミュレーション結果 (総作業時間)

試験区	平均値(h)	最小値(h)	最大値(h)	標準偏差(h)
I-1-①	37.18	32.54	52.58	3.87
I-1-②	37.71	33.50	52.07	4.54
I-1-③	39.85	34.90	55.07	5.53
I-1-④	41.71	36.22	58.57	6.25
I-2-①	38.11	32.82	47.25	4.33
I-2-②	37.56	32.83	59.21	5.35
I-2-③	39.85	33.13	52.15	6.18
I-2-④	39.36	34.95	51.30	4.99
II-1-①	26.45	23.48	29.60	1.82
II-1-②	25.87	21.45	31.12	2.70
II-1-③	27.22	23.70	34.88	2.83
II-1-④	29.21	25.77	33.78	2.70
II-2-①	25.34	20.57	31.25	2.45
II-2-②	25.81	22.02	32.93	3.17
II-2-③	26.89	24.17	30.67	1.94
II-2-④	27.31	21.73	33.25	3.30
III-1-①	20.06	16.15	23.92	2.17
III-1-②	19.55	16.42	23.85	1.88
III-1-③	20.56	16.62	24.85	2.33
III-1-④	21.52	17.65	26.93	2.54
III-2-①	19.40	15.73	23.27	2.22
III-2-②	19.14	17.67	23.10	1.82
III-2-③	19.59	16.62	23.15	1.66
III-2-④	20.33	16.68	24.95	2.16



第29図 総作業時間

の運搬車を使用すると、200mの長い距離を運搬する場合、作業時間への影響が出ると考えられる。

(2) 運搬車積載量と総収穫作業時間

運搬車の大きさによりカンキツ収穫作業の能率が受ける影響を分析するため、積載コンテナ数6個の運搬車(市販機)と10個の運搬車(試作機)の総作業時間の差と偏差率を求め、第13表に示す。これより、労働力が2および3人の場合、運搬距離が150mまででは、積載コンテナ数が6個と10個で差がないことがうかがえる。運搬距離が200mと長く、労働力が4人と多くなると、積載量の違いで総作業時間の差が大きくなり、積載コンテナ数が10個の運搬車が有利になると考えられる。

(3) 労働力と総収穫作業時間

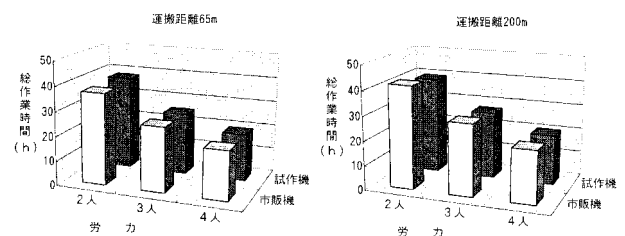
第30図に、運搬距離が65mと200mの場合の労力と総作業時間の関係を示す。図から明らかなように、労力の増加に伴って総作業時間は大幅に減少する。

以上から明らかなように、運搬距離、運搬車の大きさ、労働力からカンキツ収穫作業を分析すると、一般的な運搬距離の圃地であれば、推定価格で15万円の差がある大形の運搬車を導入することの利点はほとんど見られず、むしろ労働力を雇用できる条件があれば、雇用することで大幅な収穫作業時間の短縮が図れる。

第13表 運搬距離による総作業時間差の検定結果

労力(人)	コンテナ数(個)	運搬距離(m)	運搬距離(m)		
			100	150	200
2	6	65	*		
2	10	65	*	*	*
3	6	65	*	*	
3	10	65	*	*	
4	6	65	*	*	
4	10	65	*	*	*

注) *印は信頼度95%で母平均に差がないことを示す。



第30図 労力と総作業時間

6 摘要

急傾斜地カンキツ園の歩行形機械化体系を開発するために必要な要素技術として、園内作業道の簡易舗装法、病虫害防除機、並びに肥料散布機の開発と、収穫作業のシステム分析を実施した。

(1) 園内作業道の簡易舗装法の開発

交通量の少ない園内作業道について、雨水の流れによる路面浸食を防止して、歩行形作業機の安定走行を確保するため、低コストな簡易舗装法を開発した。開発した簡易舗装法は、砂利や砂等の骨材を使用しないで、原土に普通セメント及び土壌凝固剤を混和して水練りを行う工法である。

a 西日本地域の園地土壌は、2mm以上の礫が40%を占めるシルト質礫から0.074mm以下の細粒分割率が70%の粘土まで広範囲であった。この土壌を骨材として普通セメントを15%と土壌凝固剤を0.3%混和したテストピースの一軸圧縮強度は、普通セメントを15%混合した場合よりも1.4~4.7倍増加した。

b 普通セメント13%、土壌凝固剤0.3%を原土に混合して水練りを行うことによって、歩行形作業機の走行に安定な現場CBR値100%以上の強度を有する路面が施工できた。表面が硬化するまでの日数は、夏季では施工後3日以上を要した。路盤が強固であれば機械走行に伴う路面沈下量は小さかった。

c 本工法は転圧作業が要らず、歩行形管理機等の営農機械を利用して施工できる。作業手順は、歩行形散布機によるセメント散布、手散布による土壌凝固剤散布、歩行形管理機等による原土と舗装資材の攪拌・混合および動力噴霧機による散水後の水練り、くわ等による均平作業である。100m²当たりの施工に要した時間は5人組作業で4.1時間であり、舗装資材費はコンクリート舗装の約70%であった。

(2) 病虫害防除機の開発

風筒式防除機を試作して、その作業特性と省力・軽作業効果を調査した。

a 試作した風筒式防除機は、機体幅が880mmのその場旋回ができるクローラ式車両であり、薬液タンク容量は300Lである。円筒状の風筒に送風機とノズルを取り付け、動力噴霧機で加圧された薬液を送風散布する。風筒は油圧シリンダで支持され、最大で上向きに35度、下向きに20度まで調節でき、こ

の範囲で自動の振り散布も可能である。

b 静止転倒角の最小値は、空車時の後方転倒角27度であった。旋回半径は薬液量の影響がなく1.0mであった。

c 散布液は直進性が高く、到達距離も長かった。振り散布により葉裏への薬液の付着も良好であった。10a当たり500Lの散布量において、1樹列両面散布あるいは千鳥2樹列両面散布の有効付着率は87~91%と高かった。

d 本機の作業能率は15a/hであり、ホースを用いた手散布と対比すると作業時間が33%削減されるとともに、労働強度が強労働から中労働に改善された。

e 本機は、1樹列あるいは千鳥2樹列おきに幅1.0m、縦断勾配15度以下の園内作業道が設置されている急傾斜地カンキツ園において、高い散布精度で作業の省力化と軽作業化を図ることができる見通しを得た。

(3) 肥料散布機の開発

肥料側方散布機を試作して、その作業特性と省力・軽作業効果を調査した。

a 肥料側方散布機は、歩行形のクローラ式運搬車に散布装置を装着する搭載型であり、装置の脱着には運搬車の荷台のリフト機能を利用した。肥料ホッパ容量は100Lで、ホッパ内の肥料をスクリーンで繰り出し、遠心送風機の風によって機体側方へ送風散布する。

b 静止転倒角の最小値は、肥料満載時の右方転倒角21度であった。旋回半径は積載量の影響がなく1.3mであった。

c ペレット状の有機肥料および粒状の化成肥料を散布でき、最大吐出量は25kg/minであった。散布量比率の95%累積値までの散布距離は、ペレット状肥料で4.6m、粒状の化成肥料で5mであった。

d 本機の作業能率は45a/hであり、手散布と比較すると作業時間の削減効果は認められなかったが、労働強度は強労働から中労働へ改善され、しかも中腰姿勢割合が減少した。

e 本機は、1樹列あるいは千鳥2樹列おきに幅1.0m、縦断勾配15度以下の園内作業道が設置されている急傾斜地カンキツ園において、肥料散布作業の軽作業化を図ることができる見通しを得た。

(4) 収穫作業のシステム分析

園内作業道の肋骨形配置と歩行形のクローラ式運搬車の組み合わせによる収穫作業において、労働力、運搬車の大きさ、並びに運搬距離が収穫作業時間を与える影響をシミュレーションより求めた。運搬車は、果実コンテナが6ケース積みの市販機と10ケース積みの試作機を対象とした。

- a システム分析に当たって、採果作業能率、1樹当たりの果実数、歩行形運搬車の軽トラックへの積替え時間を含めた走行速度、20a区画の果樹園入口までの平均往復距離を調査し、収穫作業分析用モデルを構築した。収穫作業分析用モデルは、オペレータ採果作業モデル、補助者採果作業モデル、果実積み込みモデル、コンテナ運搬作業モデル、運搬作業制御ルーチン、生産量計算ルーチン、収穫作業制御ルーチン、シミュレーションルーチンで構成される。
- b 運搬距離が100m前後では、運搬車の積載量の違いや運搬距離の長短が収穫作業能率へ及ぼす影響は小さい。
- c 労働力が4人と多く、運搬距離が200mと長い場合には積載量の大きい運搬車が有利になるが、収穫作業時間への影響はわずかである。
- d 労働力を増すことで大幅な収穫作業時間の短縮が図れる。

IV 歩行形機械化体系の現地実証

1 序言

IIで検討した要素技術の開発によって、急傾斜地カンキツ園における歩行形機械化体系を実証できる見通しを得た。そこで、本体系を愛媛県北宇和郡吉田町の急傾斜地カンキツ園に導入し、労働強度、作業時間、並びに果実生産量を従来の作業体系と比較調査することによって、本体系の軽作業化および省力化効果を明らかにし本技術普及のための指針を示す⁵³⁾⁻⁵⁷⁾。

2 対象とした急傾斜地カンキツ園の概況と

園地改良

1) 導入対象園の概況

導入対象園のある愛媛県吉田町は、愛媛県の西南部に位置し、わが国を代表するカンキツ生産地である。開発技術を導入する園は吉田町のI農家が所有

する温州ミカン園（I園とする）であり、尾根筋に位置する100aの斜面畑である。園内の傾斜程度は、傾斜15度以上25度未満が約80%、傾斜25度以上が約20%の傾斜地園である。園内作業道施工以前には園地の外周に農道が設置され、比較的傾斜の緩い園内にはトラックが進入できる幅約2mの園内道が約30m間隔に造成されていた。さらに傾斜度が30度以上の区画にはモノレールが敷設されていた。

栽培品種は極早生温州から伊予柑まで多様であるが、主力は中生温州の‘南柑20号’である。樹齢は25年生であり、平均樹高2.5m、平均樹幅2.8m、樹列間の距離3.5mである。

経営規模は、導入園やハウスミカン40aを含む300aであり、労働力は基幹的労働力2名（経営主と妻）、補助労働力2名（母と父）の計4名である。収穫時には雇用労働力が若干加わる。

2) 園地改良

対象園の改良は次のようにして実施した。

(1) 施工内容

園内作業道は肋骨形に配置した。園内作業道のための斜面の掘削・整形は、写真7に示すように機体質量1.5tの小型バックホーを用いた。また、園内作業道設置のための縮伐・伐採は、ノコとチェンソー（エンジン排気量30.1mL）を用いた。連絡道は道幅1.3m、縦断勾配15度以下となるようにし、作業道は道幅1.0~1.2mで2樹列おきに設置した。さらに作業道の末端には、作業機がUターンできる直径2.0~2.5mの旋回部を設け、作業道に排水路の機能を持たせるため、作業道の山側を谷側より低くした。

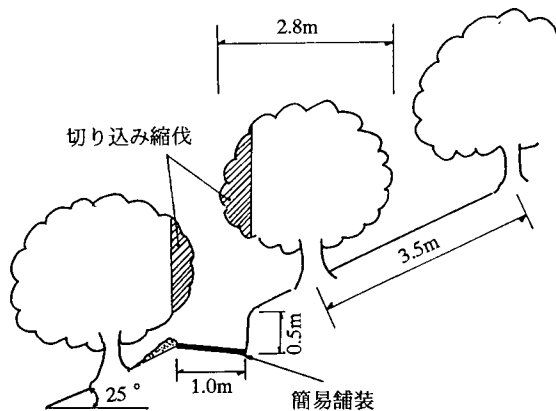
連絡道の舗装には斜面での施工がしやすいコンクリート舗装を適用した。長い作業道には資材費を抑えるため、原土にセメントと土壌凝固剤を混合して現場で水練りを行う簡易舗装を施した。コンクリート舗装には、歩行形運搬車（積載量500kg）でコンクリートを運搬した。簡易舗装時には、舗装資材の運搬に歩行形運搬車（積載量500kg）、舗装資材と原土の混合・水練りに中耕管理機（2.5kW）あるいは小形トラクタ（エンジン9.5kW、ロータリ幅1.0m）、散水には動力噴霧機（所要動力3.2kW）を用いた。

(2) 施工状況

園内作業道の施工は1994年から3年間、4期に分けて、四国農業試験場の職員、園主、JA宇和青果の



第31図 園内作業道の配置状況



第32図 作業道の開設状況

職員で行った。園内作業道の配置を第31図に、改良園の概況を写真8に示す。第3期工事区は区画幅が30mと狭いため、連絡道を設けず作業道を直接農道に接続した。第4期工事区では、老木樹を伐採して園内作業道を開設した。

施工状況を第14表に示す。園地は樹列間の距離が3.5m、樹幅が2.8mであるため、第32図に示すように、樹木の切り込み縮伐のみで作業道を開設することができた。連絡道と旋回部の開設には間伐が必要となったが、間伐本数は全体の6.5~11.3%と少なかった。

第14表 園内作業道の施工状況

栽培状況	栽植距離3.5m、樹高2.5m、樹幅2.8m			
施工内容 園内作業道 連絡道 作業道 給水施設	肋骨形配置、作業道は2樹列おきに設置 道幅1.3m、縦断勾配15度以下、コンクリート舗装 道幅1.0~1.2m、排水路兼用型、簡易舗装 4t貯水槽			
工事区	第1期	第2期	第3期	第4期
施工年月	1994.1	1995.1	1995.5	1996.3.6
施工日数(日)	2	3	1	5
枝切り・掘削(日)	1	1	0.5	2
舗装処理(日)	1	2	0.5	3
傾斜度(度)	20~25	18~25	15~20	20~40
受益面積(a)	20	40	10	30
間伐本数/栽植本数	16/142	24/372	0/63	—
間伐率(%)	11.3	6.5	0	—
園内作業道総延長(m)	240	461	109	444
連絡道(m)	40	69	0	167
作業道(m)	200	392	109	277
路線密度(m/10a)	120	115	109	148
占有面積率(%)	12	12	11	18

注) 1. 工事は5人の組作業
2. 第2期と第3期工事区の掘削には小形バックホーを2台使用

傾斜25度未満の区画では、小形バックホーによる園内作業道の掘削・整形が平均20m/hの能率で円滑に行えた。しかし、傾斜度が25度以上の第4期工事区では掘削量が増大し、しかも写真9に示すように連絡道の屈曲点が多くなるため能率は13m/h程度に低下した。さらに掘削工事の安全性からみて、本施工内容が適用できるのは、傾斜25度未満の園地と判断された。

簡易舗装に要する労力は5人の組作業で100m²当たり4~6時間であった。コンクリートによる舗装工事は簡易舗装工事より楽であるが、コンクリートの運搬に多くの時間を要し、全体の所要労力は簡易舗装と同じであった。

園内作業道の路線密度及び占有率は、傾斜度が急になるほど連絡道の路線長が長くなるため増加する。傾斜度が20度以上25度未満の区画では、路線密度が120m/10a、占有率が12%となり、傾斜度が20度以上40度未満の区画ではそれぞれ148m/10a、18%となった。

3 導入した作業体系

導入した歩行形機械化体系の作業機の諸元を第15表に示す。第15表の肩掛式刈払機と背負式微量噴霧機を除く走行車両は、機体幅が1m以下で登坂性能に優れ小回りの効く歩行形クローラ車である。導入した作業体系のうち、摘果、採果、剪定作業は手作

第15表 導入した小形作業機の諸元

作業名	作業機	機体寸法(mm)			機体質量(kg)	積載量	能率(a/h)
		全長	全幅	全高			
施肥	肥料側方散布機	1930	900	1420	485	100 l	45
草刈り	肩掛式刈払機	1830	520	375	5.7	—	6
除草剤散布	背負式微量噴霧機	269	176	394	3.2	3 l	17
病害虫防除	風筒式防除機	1980	880	1530	510	300 l	15
収穫	歩行形運搬車	1930	675	1110	260	500 kg	—

注1)肥料側方散布装置は歩行形運搬車搭載型。

2)歩行形運搬車は荷台昇降装置付き・荷揚げ高さ1130mm。

3)背負微量噴霧機はバッテリー駆動

業である。

除草作業のうち草刈り作業については、当初歩行自走式草刈機（エンジン1.8kW、ロータリ刃、刈幅30cm）を検討したが、樹冠下での小回りが効かない、斜面で横滑りするため操作が難しい、地表面の凹凸への追従性が劣り刈取り後の草丈が不揃いになるなどの欠点が明らかになったため、刈払機を用いることとした。除草剤散布には、薬剤が調合済みで散布量が3l/10aと少ない軽量の背負式微量噴霧機⁵⁾を採用した。

施肥作業には、粒状及びペレット状肥料を樹冠下へ送風散布できるように開発した肥料側方散布機を用いた。肥料ホップ容量は100Lで、吐出量は最大25kg/min、最大散布幅4.6m、作業能率45a/hであった。なお、本機は散布装置を歩行形運搬車の荷台に装着する搭載型であり、歩行形運搬車のリフト機能で散布装置を取り外し、収穫時における果実の運搬車として利用する。

病害虫防除（以下、防除と記述）作業については、薬液の散布方向が調節でき、しかも自動振り散布ができるように開発した風筒式防除機を用いた。薬液タンク容量は300L、噴霧量16L/min、作業能率15a/hであった。

収穫作業は採果と運搬作業とからなり、果実採取の容器は収穫かごを、運搬時にはコンテナを用いた。収穫かごが一杯（約10kg）になると、樹木に隣接させた歩行形運搬車の荷台に置いたコンテナへ果実を移し、運搬車の積載量が120kg（約6コンテナ分）になると待機しているトラックへ移動運搬した。トラックへの積み込みは写真10に示すように、トラックの荷台高さまで歩行形運搬車の荷台をリフトさせ、コンテナを滑らせて積み込む方法で行った。

4 導入技術の作業特性と評価

歩行形機械化体系（以下、歩行形体系と記述）の作業特性を明らかにするため、労働強度と作業時間について、I園で行われている慣行の作業体系（以下、慣行体系と記述）と比較検討した。なお、歩行形体系はI園の園地改良が終了した区画（100a）、慣行体系はI園に残る未改良区画（25a）に対して適用した。

1) 作業体系の比較

慣行体系の作業方法で歩行形体系と異なるのは、施肥、除草剤散布、防除、収穫運搬作業である。慣行作業の施肥は肥料袋を抱え運搬しながらの手散布であった。除草剤散布は背負式噴霧機（タンク容量15L）を用いた。防除作業は、トラックの荷台に積んだ動力噴霧機と1,000Lの薬液タンク及びホースを利用した手散布で行った。収穫運搬では、収穫した果実をコンテナに入れ、写真11に示すように人力で園内道に待機しているトラックあるいはモノレール上の単軌条運搬機まで運搬して園外に搬出した。人力による運搬距離は最大で30mであった。

2) 労働強度

歩行形体系と慣行体系の作業別の労働強度を第16表に示した。なお労働強度の表示は、Ⅲ32)の(4)と同様である。作業時心拍数の測定時間は1時間以上とし、測定時間中の平均値と最大値を求めた。作業者は各作業機の操作に熟練しているI園主（44才、身長168cm、体重63kg）であり、心拍数の測定には携帯用心拍記憶装置（測定器：ヴァイン社製VHM1-016）を用いた。

歩行形体系の摘果及び剪定作業におけるオペレータの心拍数は、慣行作業と同様な値を示し、労働強度は剪定作業が中労働、摘果作業が軽労働の区分であった。これは両作業体系とも、摘果及び剪定作業

第16表 歩行形体系と慣行体系の労働強度

作業名	測定日	歩行形体系				慣行体系			
		心拍数 (拍/分) 平均	心拍数 増加率 (%)	労働 強度		心拍数 (拍/分) 平均	心拍数 増加率 (%)	労働 強度	
剪定	'96. 2.23	101	114	33	中	102	118	34	中
施肥	'95. 6.13	109	126	36	中	142	162	77	強
草刈り	'96. 7.16	113	128	49	中	121	138	59	強
除草剤散布	'96. 7.25	94	107	24	軽	104	126	37	中
摘果	'95. 7.26	96	111	27	軽	96	115	27	軽
病害虫防除	'95.10.20	106	122	39	中	135	141	69	強
収穫	'95.11.21	92	114	28	軽	105	132	48	中

注1) 散布量：施肥120kg/10a、機械化区の除草剤散布 3 l/10a、慣行区の除草剤散布 15 l/10a、防除 500 l/10a

2) 心拍数増加率(%) = {(作業時心拍数 - 安静時心拍数) / (安静時心拍数)} × 100

の大部分が樹冠下の斜面で行われており、園地改良による労働強度への影響が少なかったためと考えられる。

施肥作業において、慣行では肥料袋の抱え運搬と中腰姿勢による手散布の動作が作業者の心拍数を高め、労働強度は強労働の区分であったが、歩行形体系の施肥作業は、肥料側方散布機による機械散布であり、オペレータの心拍数増加率は36%の中労働になった。

歩行形体系と慣行体系の草刈り作業状況を写真12に示す。歩行形体系区では、足場が確保される園内作業道周辺の作業者の心拍数が低く、これが影響して慣行体系の強労働に対して本体系の労働強度は中労働に改善された。

除草剤散布作業状況を写真13に示す。歩行形体系では、作業時心拍数の平均、最大値とも慣行作業より小さく、労働強度は軽労働に区分された。これは園内作業道周辺での作業姿勢の改善と、使用した背負式微量噴霧機の機体重量が薬剤を含めても6kgと軽いことによる。

慣行の防除作業は、ホースを保持して斜面を歩く過酷な作業であり、心拍数増加率は69%と高く、労働強度は強労働であったが、風筒式防除機による作業では、オペレータの心拍数増加率は39%であり中労働になった。

収穫作業は、採果と運搬を行うオペレータと採果のみを行う補助者の組作業で行われるが、労働強度はオペレータの方が大きいとみなされるので、オペレータのみについて測定した。歩行形体系区と慣行体系区におけるオペレータの心拍数を第33図に例示する。両区とも二人組作業であり、作業時間は1.5時間であった。収穫量は、歩行形体系が200kgで、慣行体系は140kgに止まった。しかも第33図で示すように、慣行体系ではコンテナの抱え運搬とトラックへの積み込み動作が心拍数を高め、労働強度は中労働の区分であったのに対して、収穫量の多かった歩行形体系のオペレータの心拍数増加率は28%と低く、労働強度の区分は軽労働になった。

以上のように、歩行形体系の導入により、慣行体系では強労働である防除、施肥、除草作業を中労働へ、また中労働の収穫作業と除草剤散布作業を軽労働へ軽減させ得ることが明らかになった。

3) 作業時間

歩行形体系と慣行体系の作業別年間作業時間を第17表に示す。なお作業時間は、園主に記帳依頼した作業日誌から集計し、1995年9月1日から1997年8月31日までの2年間の平均値を用いた。

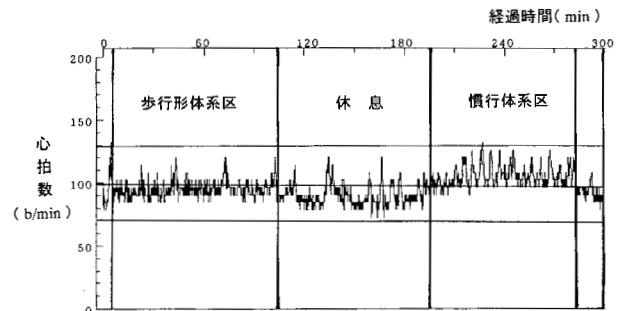
歩行形体系の整枝・剪定作業では、園内作業道の開設時に縮間伐を行うことで剪定作業量が減少するとともに、剪定枝の搬出などの処理がしやすく、慣行作業に比べて作業時間が42%減少した。また、摘果量も減少し、摘果作業の作業時間は慣行作業に比べて29%減少した。

施肥作業では、肥料側方散布機の散布方向が一方方向であるため移動時間が多く、慣行作業より作業時間が10%増加した。

除草作業では、園内作業道の舗装により除草面積が減少するとともに、作業姿勢の改善によって作業能率が向上し、作業時間は慣行作業に比べ28%減少した。

さらに防除作業では、風筒式防除機の作業能率が手散布よりも高いことに加え、一人作業が可能となるため、作業時間は慣行作業に比べて47%減少した。

歩行形運搬車を用いた収穫作業では、収穫果実の



第33図 収穫作業時のオペレータ心拍数

第17表 歩行形体系と慣行体系の作業別年間作業時間

作業名	歩行形体系 A (h/10a)	慣行体系 B (h/10a)	体系間の差 A - B (h/10a)
整枝・剪定	8.1	14.0	- 5.9 (-42.1%)
施肥	2.2	2.0	+ 0.2 (+10.0%)
除草	8.3	11.5	- 3.2 (-27.8%)
防除	8.4	15.9	- 7.5 (-47.2%)
摘果	31.3	44.2	-12.9 (-29.2%)
収穫	25.8	41.4	-15.6 (-37.7%)
計	84.1	129.0	-44.9 (-34.8%)

注 1) 作業時間は1995年9月～1997年8月までの2年間の平均値
2) () 内は慣行体系に対する歩行形体系の増減率

園外への搬出が省力化され、その分採果作業能率が向上し、慣行作業に比べて実時間で10a当たり16時間、割合では38%減少した。

以上より、歩行形体系の年間作業時間は慣行体系と比較して、10a当たり45時間、割合では35%減少することが明らかになった。

4) 果実生産への影響

歩行形体系の導入にあたって問題になるのは、園地改良に伴う縮間伐であるので、I園の第1期および2期工事区における4年間の年次別出荷量と果実単価を調査し、その結果を第18表に示す。なお、本体系の導入による出荷量への影響を見るため、I園の位置する地区の平均と比較し、対地区比で示した。

園内作業道の開設のためにミカン樹の縮間伐を行った94年と95年の対地区比は、それぞれ105%、135%とやや多い出荷量に止まっていたが、96年と97年は2年続けて150%台と大幅な出荷量の増加をみた。また、97年の出荷量は10a当たり4.6tと明らかに標準的な値より高いことから、生産量は縮間伐をする前のレベルに回復したと判断することができる。このように早く回復できたのは、狭幅な園内作業道を2樹列おきに設置したため、縮間伐量が少なかったことによると考えられる。なお、カンキツは隔年結果性が強いいため、園地改良を果実の成り年に行うなどで、縮間伐に伴う生産量の減少を抑える工夫が必要である。

果実単価についても年次変動が大きい、I園の単価はいずれの年も地区平均より高い値であった。本地区の果実単価は全国的に上位であるが、それを上回る単価であることから、歩行形体系の導入による品質低下はなく、従来の高品質な果実生産を維持し得るものと判断できる。さらに園主の観察では、園内作業道の舗装による排水促進や、作業道設置に伴う縮間伐による樹木への直達光の増加などによ

て、果実糖度および果皮色の向上が認められている。

なお、本体系導入による生産コストへの影響については関野ら⁵⁶⁾が試算しており、それによると10a当たり360~3,500円程度のコスト削減がもたらされると評価している。

5) 結論

以上述べたように、歩行形機械化体系のための園内作業道は道幅が狭いため縮間伐量が少なく、体系導入に伴う生産量の減少が問題にならない。しかも、園内作業道の設置工事は実証したように、生産者自身が行え、低コストで園地改良が行える。さらに、改良園地へ歩行形機械化体系を導入することにより、従来の品質を維持しつつ、労働強度の軽減と35%もの作業時間の削減を図ることが可能になった。

特に年間10回程度必要とし、酷暑の中で噴霧用ホースとノズルを持って斜面を歩く防除作業が、作業道からの機械散布に改善され、しかも作業時間が削減されたことは、作業者の労働負担を大きく軽減した^{59),60)}。また、収穫した果実の運搬効率の向上は、人力作業に依存している収穫作業時間を大幅に削減し、現状の労力であっても適期を逃さず収穫できる面積を拡大させた。このことは、収穫作業労力の面から規模拡大が困難と判断していたI園主が、本体系導入後に約10a分の園地を購入したことからもうかがえる。さらに、香川県ではここで述べた園地改良を県の補助対象事業とし、既に約90haを施工している。

国内産果実は消費ニーズの多様化、輸入果実の増加などから、より一層の高品質化が求められている。歩行形体系は、高品質果実の生産適地である急傾斜地園の軽作業化と省力化を実現でき、産地の維持・発展に寄与しうる体系であると判断される。

なお歩行形体系の適用園地は、園内作業道の施工面から傾斜度25度未満の範囲に限られる。しかし生産地には傾斜度が25度以上の園地も多く、法面を石垣にした階段園もある。これらの園地では、モノレールと極狭幅な作業道との組み合わせによる機械化体系が適切と考えられ、今後検討されるべき課題と考えられる。

第18表 出荷量と果実単価の推移

年次	1994	'95	'96	'97
出荷量 (kg/10a)	2,055	3,011	2,627	4,570
対地区比 (%)	105	135	152	158
果実単価 (円/kg)	233	153	272	70
対地区比 (%)	113	101	113	140

注) '94年1月および'95年1月に園内作業道開設
品種: '南柑20号'

5 摘要

園内作業道の肋骨形配置法, 作業道の簡易舗装法, 風筒式防除機, 肥料側方散布機, クローラ式運搬車を核とする歩行形機械化体系を愛媛県北宇和郡吉田町の急傾斜地カンキツ園に導入し, 本体系による労働強度, 作業時間, 果実生産量について, 慣行体系と比較検討した. なお, 歩行形機械化体系を適用した面積は100aであった.

1) 本体系を導入した園地の傾斜度は, 傾斜15度以上25度未満が園地の80%, 傾斜25度以上が20%を占める尾根筋に位置する斜面畑である. 樹列間の距離が3.5m, 樹幅が2.8mで栽植本数は10a当たり90~100本であった. この園地に2樹列おきに作業道を設置する肋骨形の園内作業道を開設した. 園内作業道は道幅1.0~1.3m, 縦断勾配15度以下とし, 連絡道はコンクリート舗装, 作業道は簡易舗装を施した.

2) 園内作業道の設置のために伐採した樹木の間伐数は, 全体の6.5~11.3%であった.

3) 小形バックホーによる園内作業道の掘削・整形の作業能率は, 傾斜度が25度以下では平均20m/hであり, 傾斜度が25度以上の区画では13m/hであった. 簡易舗装に要する労力は5人の組作業で100m²当たり4~6時間であった.

4) 園内作業道の路線密度は, 傾斜15度以上25度未満の区画では120m/10aであり, 傾斜20度以上40度未満の区画では148m/10aであった.

5) 歩行形機械化体系の導入により, 慣行体系では強労働である防除, 施肥, 草刈り作業を中労働へ, また中労働の収穫作業と除草剤散布作業を軽労働へ軽減させることができた.

6) 歩行形機械化体系による作業別の作業時間は, 慣行体系と比較して, 整枝・剪定作業で42%, 摘果作業で29%, 除草作業で28%, 防除作業で47%, 収穫作業で38%削減することができた. 年間の作業時間では10a当たり45時間, 割合では35%削減することができた.

7) 歩行形機械化体系導入後2年で生産量が回復し, 本体系導入による果実単価への影響は認められなかった.

8) 以上, 歩行形機械化体系は, 生産量を低下させないでしかも高品質果実生産を維持しつつ, 労働強度の軽減と作業時間の35%削減を実現できるこ

とを実証した.

V カンキツ生産作業体系選択過程の分析

1 序言

IVでは, 急傾斜地カンキツ園において歩行形機械化体系は, 生産量および高品質果実生産を維持して, 労働強度の軽減と作業時間の削減を図ることができるとを実証した. しかし, 開発した歩行形機械化体系が全ての傾斜地カンキツ園への導入に適しているとは限らず, カンキツ園の規模や傾斜度, 労働力等の条件により選択すべき作業体系は異なったものとなる. いかなる作業体系を導入すべきかは, 生産者自身が決定すべき事項であるが, 多くの関連する項目について整理し, 適切な判断を下さなければならず, 複雑で困難な意思決定過程となる.

そこで本章では, 不確定な状況や多様な評価基準の下で意思決定を行う際に有効な手法である階層分析法に基づく意思決定支援システムを開発し, それを用いてカンキツ生産農家を対象とする調査を実施し, その結果からカンキツ生産作業体系選択の意思決定過程を分析するとともに, 開発した歩行形機械化体系の導入条件を明らかにする.

2 階層分析法と意思決定支援システムの開発

1) 階層分析法の概説

Thomas Saatyら⁽⁶¹⁾⁻⁽⁶³⁾により開発された階層分析法 (Analytic Hierarchy Process (AHP)) は, いくつかの選択肢の中から最も目標に合致するものを選び出したり, 目標に合致する程度に従って順位付けをするために用いられる手法である.

一般には, 意思決定しなければならない事項 (目標) と最終選択項目との間には, 判断しなければならない多くの事項が介在し, それらは目標および選択項目と複雑な関わりかたをしている.

そのため階層分析法では, 中間に介在する判断すべき事項を階層構造に整理し, 上位階層の事項に下位階層の事項が関わる程度を逐一判断しながら数値化して, それに数学的処理を施すことにより, 最上位階層に位置する意思決定の目標と最下位階層の選択項目との関わり方の程度に凝縮することで, 意思決定を行いやすくする.

しかし階層分析法は、上位階層の事項に係る下位階層の事項の構成項目の中から2項目を取り上げ、その2項目が上位階層の事項に係る程度を一对比較し、階層構造の上位から最下位層までに含まれる項目について一对比較を繰り返すことにより、階層構造全体の項目間関係を求める方法であり、膨大な一对比較と行列計算が必要になる。

2) 開発した意思決定支援システムの構成

概説で述べたように階層分析法をカンキツ生産作業体系の選択問題のような実用的な規模での意思決定支援に用いるには、分析作業が煩雑で多くの時間を必要とする。

そこで、階層構造の構築や一对比較を対話型で容易に行え、自動的に行列計算を実施して、結果を分かりやすく表示できるソフトウェアとして意思決定支援システムを開発した。開発にはオブジェクト指向言語であるVisual Smalltalk⁶⁴⁾を用いている。

第34図が開発した意思決定支援システムの主画面⁶⁵⁾である。主画面に示されているボタンを選択することにより、必要な処理に進むことができる。当システムを使う際に必要な事項については、画面上部のツールバーにある説明メニューを開くことで表示される。さらには、簡単な例題を「例題で習得」に組み込んであるため、意思決定支援システムの仕組みや使い方等必要事項を理解し、習得することができる。

3 意思決定過程の構造

1) 比較するカンキツ生産作業体系

カンキツ生産者や産地で技術導入の指導的立場に

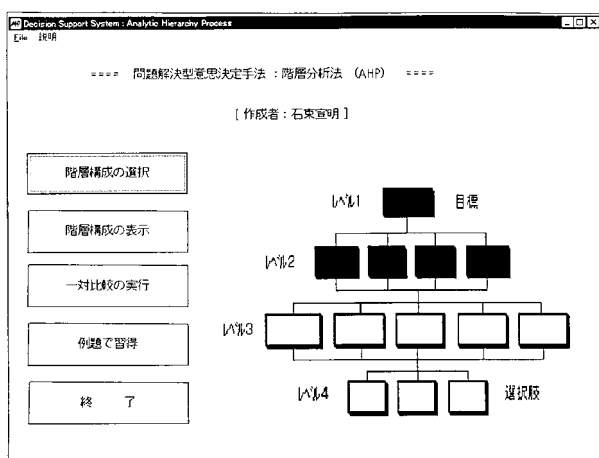
ある農協技術指導員や普及員が、新しい技術の導入を検討するに当たっては、個別果樹園や地域の園地の特徴に合致した適切な技術を選択することが求められる。この場合、技術の経済的な側面からの検討に加え、地形的特徴、労働力事情等多方面からの検討が必要であり、それら考慮すべき項目の内容や位置付けは選択する者の立場や背景、条件により異なり、経験や直感にも影響される。

ここでは、比較選択の対象とするカンキツ生産作業体系を、①スプリンクラとモノレール（単軌条運搬機）の組み合わせで代表される施設形体系、②スピードスプレーヤ（以下、SS）と軽トラックの組み合わせによる乗用形体系、③本研究で開発した風筒式防除機とクローラ式運搬車による歩行形体系の3体系とした。

施設形体系は、園内作業道を造成することなしに導入でき、導入にあたって潰れ地が少ない特徴がある。スプリンクラによる薬剤散布は、遠隔操作であるため散布者の農薬被爆がなく、散布時間は10a当たり5分程度と能率的であるが、散布量は10a当たり600~800Lと多く、葉裏への薬液付着が劣る。施設費が高額であるため、国の補助事業で導入される共同利用の場合が多いが、個人利用の簡易スプリンクラもある。モノレールは200kgの荷を搭載して、勾配45度の斜面を2~3km/hの速度で運搬できるが、モノレール敷設は工事費を含めて6,000円/mと高額であるため園の上下方向に限られ、モノレールまでの横運搬は人力運搬に依存している。

乗用形体系は、走行速度が速く運搬量も大きいですが、作業機が安全に走行できる園内作業道の設置が不可欠である。幅の広い園内作業道が必要となるため、その園地に占める割合が40~50%と大きくなり、樹木の縮間伐により生産量が減少する^{66),67)}こと、さらには、急傾斜地での造成に多額の費用を必要とするなどの短所がある。しかし、SSによる薬剤散布時間は10a当たり20分程度と能率的であり、散布精度も高く散布量も10a当たり500Lと少ない。さらに、園内の運搬作業には園外運搬用の軽トラックを利用できるため、園内での資材や収穫物の積み換え回数が少ない利点がある。

歩行形体系は、機体幅が1m以下のクローラ式車両を基幹とする作業体系である。乗用型体系と同様



第34図 意思決定支援システムの主画面

に園内作業道の設置が不可欠であるが、幅の狭い園内作業道でよく、その占める割合は園地の12~25%と小さい。そのため、作業体系導入後の生産量の減少が少なく、造成費も少ない。風筒式防除機による薬剤散布時間は10a当たり40分とスプリンクラやSSに比べて多くの時間を要するが、散布精度が高く、散布量もSSと同様である。歩行クローラ式運搬車は120kg（果実コンテナ6ケース）の荷を搭載して、勾配15度以下の園内作業道を2km/hの速度で運搬できる。

2) 評価項目とその構造

設定した3体系は、上記のようにそれぞれ異なる特徴を備えているため、適切と判断される体系を選択するには、多方面からの検討が必要である。

そこで、作業体系の選択に当たって考慮すべき項目をカンキツ生産の専門家による検討を経て、「規模適性」、「作業強度」、「作業能率」、「作業の質」、「園地状態」、「必要経費」、「資金援助」の7項目を設定した。

「規模適性」は、経営規模に合った体系を選択することの重要性を評価するための項目である。つまり、作業体系を選択する場合、対象としているカンキツ園あるいは地域の特徴に合致した規模の体系を選ぶことの重要性を示している。

「作業強度」は、対象とするカンキツ園や地域の地形、担い手の状況等により作業強度に対する重点の置き方が違ったものとなるとともに、選択対象の3作業体系間に作業強度差があるので、それらを評価する項目として設定している。例えば、カンキツ園は急傾斜地に位置することが多いため、厳しい作業を強いられるが、生産者が高齢者であるほど他の項目以上に作業の辛さを重要視するものの、果樹園が比較的傾斜の緩い地形に位置する地域では、作業強度にあまり重点を置かないと考えられる。

「作業強度」をさらに具体的な作業内容に分けて検討するため、「薬剤散布作業強度」、「除草作業強度」、「運搬作業強度」、「採果作業強度」、「摘果・剪定作業強度」を下位項目として設定する。

生産規模に応じて重要度が異なると考えられるとともに、3作業体系の作業能率に違いがあるので、「作業能率」を評価検討項目に加える。さらに、具体的に、主要な作業である「薬剤散布作業能率」、「運搬作業能率」、「採果作業能率」、「摘果・剪定作業能率」を下位項目として設定する。

「作業の質」は、生産規模や経営方針と関連する主観性の強い評価基準であるが、選択対象の作業体系間で作業の質に違いがあると考えられるので、選択に当たっての検討項目とする。なお、「作業の質」の具体的な内容として、「薬剤散布の質」と「運搬のていねいさ」を下位項目に設定する。

「園地状態」は「傾斜程度」、「区画の大きさ」、「取付け道路等の整備状態」から成る項目であり、各作業体系の特性と深く関わるため、選択に当たって評価すべき事項として設定する。

一般に「必要経費」は直接経営に関係するため、重要視される評価基準と考えられるが、対象とするカンキツ園や地域の地形、労力事情によっては、必ずしも最重要視されるとは限らない。「必要経費」には「初期投資」と「稼動経費」の下位項目を設定する。園地の基盤整備費まで含めた各作業体系の初期投資額は、園地の地形により幅があるが、おおよ

第19表 各作業体系の初期投資額

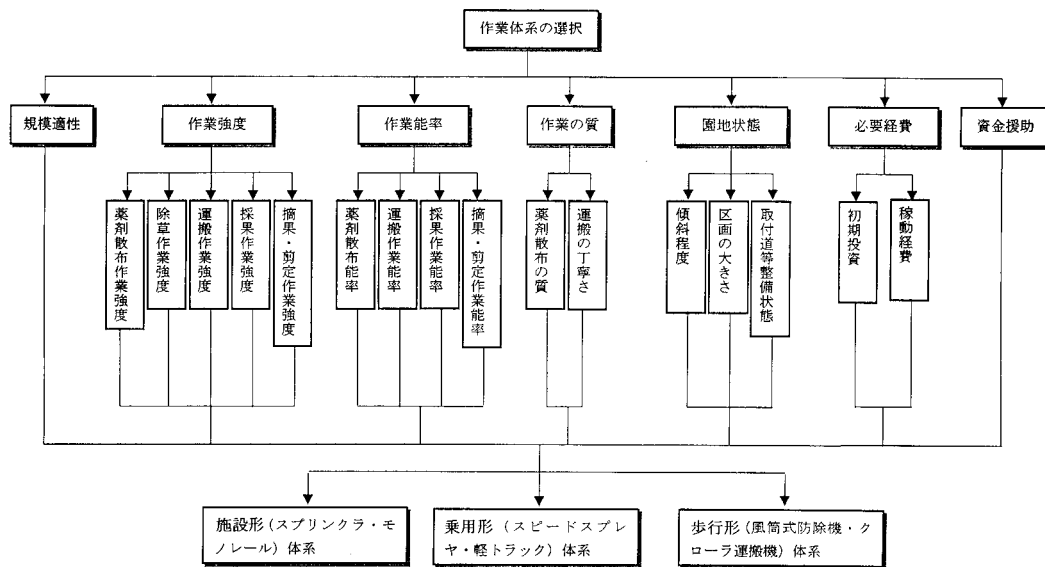
作業体系	園内作業道造成費	機械・施設費
施設形	0円	スプリンクラ 180万円/10a（簡易スプリンクラ 60万円/10a） モノレール（単軌条運搬機含む）70万円/10a
乗用形	61万円/10a	スピードスプレーヤ（600ℓ、傾斜散布装置付）460万円
歩行形	49万円/10a	風筒式防除機（300ℓ）190万円・歩行型運搬車 45万円

注）園内作業道造成費は、果樹経営問題研究会報告書より引用

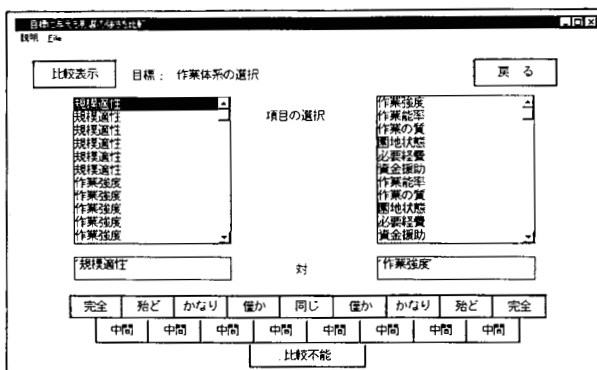
第20表 省力・機械化栽培体系確立のための補助事業

事業名	事業の概要
果樹産地生産システム確立事業	小規模土地基盤整備（改植・高接、圃地改良等一受益1ha以上） 共同利用施設（防除・かん水施設、有機物供給施設等） 集団営農用機械（多目的管理機、風筒式防除機等）補助率50%
りんごわい化栽培等緊急推進対策事業	小規模土地基盤整備（改植・高接、圃地改良等一受益1ha以上） 共同利用施設（防除・かん水施設、防風施設等）補助率50%
農業キーマテクノロジー等確立実証モデル事業	大規模基盤整備と連携した機械化・省力化技術体系の実証普及 小規模土地基盤整備（改植・高接、圃地改良等一受益1ha以上） 共同利用施設（防除・かん水施設、有機物供給施設等） 集団営農用機械（多目的管理機、風筒式防除機等）補助率50%
融資事業を通じた支援措置	農業近代化資金（機械施設、補給等）貸付利率2.6% 農業改良資金（果樹栽培合理化資金）無利子

注）果樹経営問題研究会報告書より抜粋



第35図 カンキツ生産作業体系選択の階層構造図



第36図 意志決定支援システムの選択画面

その額を第19表⁶⁾に示す。なお、この値は調査対象者に参考事項として提示される。

「資金援助」は、カンキツ園の機械化を計る際に利用可能な資金援助制度として第20表⁶⁾に示すものがあり、作業体系の選択に当たって考慮されるものと考えられるので、評価項目として設定する。

上述した7評価項目とその下位項目、さらには選択対象となる3作業体系を、意思決定過程として階層構造化し第35図に示す。

使用者は、まず第36図に例示するように、最上位階層に位置する項目(目標)である「作業体系の選択」に対し、「規模適性」と「作業強度」のどちらがどの程度、つまり「同じ、わずか、かなり、ほとんど、完全に」重要と判断するかを各判断基準の中間的判断まで含めて9段階から選定して与える。同様の判断を第2階層に位置する7項目全ての組合わ

せについて順次実施する。なお、比較不能の判断も可能である。

次に、第2階層の項目を目標とし、第3階層に位置する項目から2項目を選び、目標に対する2項目間の関係の強さについての判断結果を与えていく。第2階層の項目で第3階層に下位項目を有する5項目について順次同様の一対比較を実施する。

最後に、選択対象である3作業体系についての一対比較を実施するが、目標項目は第35図の第2階層両端に位置する「規模適性」と「資金援助」の2項目と第3階層の全項目である。

これらの手続きは、意思決定支援システムから設定された階層構造に従った選択指示が出るので、使用者は、システムの指示に従って、一対比較の判断に集中することができる。

4 選択過程の調査と分析

1) 調査対象者

第21表に示す17名について調査を実施した。いずれもカンキツ生産に意欲を持って取り組んでいる生産者であり、対象者B, D, Fは兼業農家、他の14名はカンキツ専業農家である。対象者の年齢は36～57才の範囲であり、平均年齢は45才である。対象者2名が平坦地を含む傾斜15度未満の緩傾斜地でカンキツを栽培しており、他は傾斜度15度以上の急傾斜園を所有している。傾斜25度以上の急峻傾斜地園を所有している対象者は6名である。経営面積が2.0ha

以下の対象者が5名、2.1~3.0haが7名、3.1ha以上が5名である。圃場の区画数が3カ所以下の対象者が4名であり、13名は5カ所以上に分散している。対象者の1haあたり平均生産量は23tであり、生産量が100tに達している対象者が2名いる。労力は2~4名であり、すべてが家族内労働力であるが、収穫時においては2~3名の雇用が加わる。対象者の約半数に後継者がいる。

対象者L, P, Qは施設形体系を、対象者A, Bは乗用形体系を、対象者E, Mは歩行形体系を既に導入している。他の10名は、防除作業に動力噴霧機、園内の運搬作業にモノレールあるいは歩行形運搬車を使用している。

このような生産者を対象として、あらかじめ設定した評価項目の階層構造に従い意思決定支援システ

ムにより項目間の比較検討と重要度の算定を行った。重要度の計算結果の表示例を第37図に示す。

2) 分析結果と考察

(1) 各項目の分析結果

最上位階層に位置する7項目間の比較結果から、各調査対象者が作業体系選択に当たって最も重要と判断した項目について、その割合を求め第38図に示す。これにより、約半数が作業体系を選択する際に「園地状態」を最も重視すると回答しており、園地状態に合わせて導入すべき作業体系を決めなければならないと判断している生産者が多いことが分かる。一方、「必要経費」、「資金援助」等の作業体系導入に関わる経済性の側面や規模との適合性については、「作業能率」や「作業の質」より重視する対象者が少なく、このことは、作業体系導入の際の必要経費のすべてを自らの経営で負担する必要がないことや、経営状態を考慮する以前に、生産のための作業改善を進めたいとの生産者の願いが表れているためと思われる。

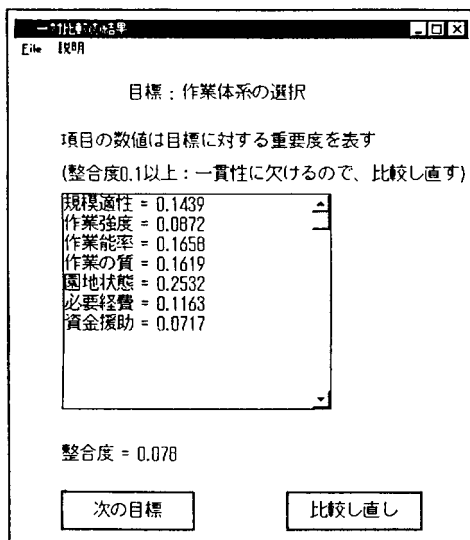
また、「作業能率」の項目を最重要視した対象者は、経営面積が3ha以上の規模の大きい農家であり、「作業の質」を重視した対象者は、経営面積が2.5ha以下の比較的規模の小さい農家であった。このことは、「作業の質」は出荷される生産物の外観品質に影響するので、出荷量の少ない生産者は少しでも良品を出したいと思っていることを反映しているとも考えられる。

なお、「作業強度」については、当初、カンキツ生産が傾斜地での作業になるた

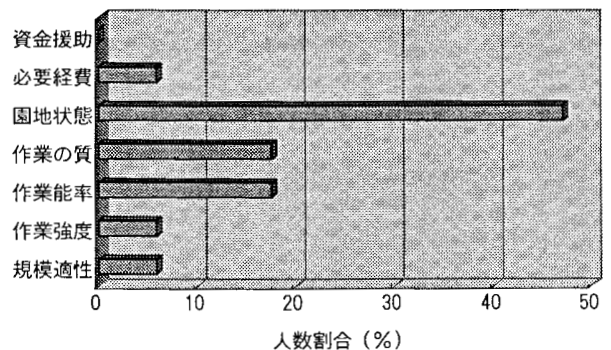
第21表 調査対象者一覧

対象者	年齢	住所	園地の傾斜程度(度)			経営面積(ha)	区画数	生産量(t)	労力(人)	後継者有・無	所有作業機・施設			
			<15	<25	≥25						トラクター	SS	風筒式防除機	モノレール
A	40	熊本県	○	○		4.0	8	100	3	無				
B	45	広島県	○	○		1.7	8	30	2	不明				
C	47	香川県	○	○	○	3.2	12	60	3	無	○			
D	38	香川県	○			2.5	6	70	2	有				
E	57	香川県		○		2.0	2	40	2	有		○		
F	43	香川県		○		1.4	2	30	2	有				
G	55	愛媛県	○			3.0	2	80	2	有				
H	36	愛媛県	○	○		2.0	3	60	4	不明				
I	41	愛媛県	○	○		2.0	7	40	3	無				
J	46	愛媛県	○	○		3.0	6	70	4	有				
K	50	愛媛県			○	3.5	7	80	3	無				○
L	49	愛媛県			○	4.0	10	100	2	有	○			○
M	46	愛媛県		○		3.0	5	70	4	有	○		○	
N	39	愛媛県			○	2.5	15	50	3	有				○
O	41	愛媛県			○	3.5	10	70	2	有				○
P	43	愛媛県			○	2.5	15	60	3	有	○			○
Q	48	愛媛県			○	3.0	8	85	4	無	○			○

注) 1. 対象者B, D, Fは兼業、他はカンキツ専業。
2. 軽トラクタ、動力噴霧機は対象者全員所有。
3. 1998年調査。



第37図 重要度の計算結果の表示例



第38図 作業体系選択の最重要項目

第22表 上位項目に対する下位項目の重要度

上位項目	下位項目 (最重要と判断した者の割合%)
園地状態	取付道等整備状態 > 傾斜程度 > 区画の大きさ 53 40 7
作業能率	運搬作業 > 薬剤散布作業 > 採果作業 = 摘果・剪定作業 50 39 6 6
作業の質	薬剤散布の質 > 運搬のていねいさ 88 13
作業強度	薬剤散布作業 > 運搬作業 > 除草作業 = 採果作業 = 摘果・剪定作業 44 22 11 11 11
必要経費	稼働経費 > 初期投資 53 47

め重要視されると想定したが、調査対象者が30~50才台の壮年層であることが影響したためか作業体系の選択に当たって最重要項目との判断は少ない。

次に、各項目に対する下位項目の重要度について検討する。第22表に、重要度の高かった5項目を選び、その内容について調査対象者がどのような判断をしたか示す。

最も重要視するものが多かった「園地状態」については、園地までの取付道路の有無が最重要視され、次いで園地の傾斜度を重要と位置付けている。このことは、いずれの作業体系であっても園地までの運搬にトラック等が進入できる条件が無ければ受け入れられないことを意味し、続いて傾斜の程度によって選択すべき体系が異なると判断していることがうかがえる。区画の大きさが重要視されないのは、区画を拡大するには多くの困難を伴うため、むしろ与件としてとらえられているためと思われる。

「作業能率」については、運搬作業が最も重要と判断している対象者が全体の半数を占め、次いで薬剤散布作業であり、採果作業や摘果・剪定作業を重視する者は少ない。このことは、作業強度の大きい運搬作業や薬剤散布作業を素早く終わりたいの思いや、手作業の採果・摘果・剪定作業に高能率な手段がないと判断しているためと考えられる。

「作業の質」では薬剤散布作業の質と運搬のていねいさの項目を設けたが、ほとんどの対象者が薬剤散布作業の質の方を重視している。このことより、生産者の多くは、生産物の外観品質が病虫害に大きく影響されると判断していることがうかがえる。

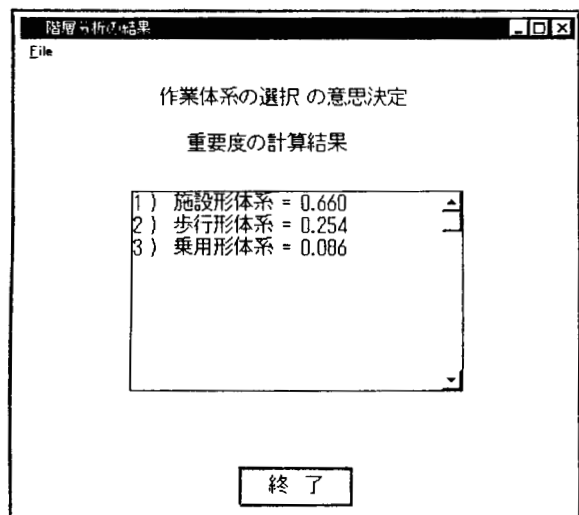
「作業強度」については、薬剤散布作業や運搬作業を重視する対象者が多く、作業体系の導入に当たっては、防除・運搬作業の軽作業化を進めたいと願っている生産者が多いことが分かる。

「必要経費」の下位項目である稼働経費と初期投資ではその差が少ないが、調査対象者の背景にさかのぼって検討すると、稼働経費を重視している対象者は、既に施設型あるいは乗用型体系を導入している者を含めた比較的規模の大きい農家であり、初期投資を重要視した者は、経営面積が2.5ha以下で後継者のいる農家である。このことは、経営規模の小さい農家は、少ない初期投資で作業体系の改善をはかりたいと願っていることを表していると思われる。

(2) カンキツ生産作業体系の選択

階層構造に従う一対比較により導かれた各評価項目の重みベクトル(重要度)を全階層にわたって統合した重みベクトルが、3作業体系間の重要度(最終重要度)として第39図に例示するように求められる。この結果から、各調査対象者が重要とした主な評価項目別に最も最終重要度が高いと判断した作業体系を求め、その割合を第23表に示す。例えば、「取付道等の整備状態」の項目の重要度が最も高かった者の内、施設型体系の重要度が最高であった者の割合は26%であり、乗用形体系と歩行形体系は37%である。

第23表より、取付道等の整備状態を重要視する場合、選択される作業体系は乗用形体系と歩行形体系が多くなり、園地の傾斜程度では施設形体系や歩行形体系を選択する者が多い。このことより、園地までの取付道の整備が進んでいることが、乗用形体系や歩行形体系の導入にはより重要であることがうか



第39図 3作業体系間の重要度の表示例

第23表 主な項目別の作業体系選択人数割合 (%)

選択体系	取付道等の整備状態	園地の傾斜程度	薬剤散布作業			運搬作業		規模適性	稼働経費	初期投資	資金援助
			作業能率	作業の質	作業強度	作業能率	作業強度				
施設形体系	26	47←	53←	19	53←	23	26	35←	35←	24	48←
乗用形体系	37←	18	47←	57←	47←	71←	58←	45←	30	0	38←
歩行形体系	37←	35←	0	24	0	6	16	20	35←	76←	14

注) ←は注目値を示す

がえる。また、施設形体系や歩行形体系の導入には、園地の傾斜度とその判断の重要な要因になることを示している。

具体的な作業で重要度の高かった薬剤散布作業では、作業能率および作業強度から施設形体系や乗用形体系が選択され、歩行形体系を選択する者はいない。一方、作業の質では、乗用形体系を選択する者が最も多く、次ぎに歩行形体系である。このことより、薬剤散布作業には乗用形体系のSSが最も有効な作業機であり、施設形体系のスプリンクラは作業精度に問題があると判断している生産者が多いことが分かる。また、風筒式防除機については、SSが導入できない園地で、散布精度を重視する場合に選択する作業機であると判断しているといえる。

次に、運搬作業については、作業能率および作業強度の項目とも乗用形体系を選択する対象者が明らかに多く、このことより、園内に軽トラックを導入することが、最も運搬作業の改善に効果的であると判断している者が多いことが分かる。

規模適性の項目に対しては、施設形体系と乗用形体系を選択した対象者が多い。このことは、施設形体系あるいは乗用形体系を導入する際には、経営規模が大きくなってはならないと判断しているためと思われる。なお、乗用形体系を選択した対象者の平均経営面積は3.0haと大きく、施設形体系の場合は2.8ha、歩行形体系では2.4haである。

作業体系と資金運用面との関係を見ると、稼働経費では歩行形体系や

施設形体系を、初期投資では歩行形体系を、資金援助では施設形体系や乗用形体系を選択する者が多い。このことから、施設形体系や乗用形体系は、初期投資額が大きく、資金援助が得られなければ受け入れられない体系であると判断しており、歩行形体系については、自らの資金力で導入できる作業体系であると判断している者が多いことがうかがえる。

次に、3作業体系別に各作業体系の重要度が最も高く算出された者から代表的なG、Q、Cの3者を選び、第2階層で重要度の高かった3項目でかつ第3階層で最も重視した項目を抽出し、その項目と選択した作業体系の結果を第24表に示す。

対象者Gは、作業体系を選択するに当たって、園地の傾斜程度を最も重視し、作業能率では運搬作業、作業の質では薬剤散布作業を重視している。作業体系との関わりでは、園地が傾斜15度未満の緩傾斜地であることを反映してか、いずれの項目に対しても乗用形体系であり、最終の選択体系も乗用形体系の

第24表 対象者別の重要項目と選択作業体系

対象者	作業体系	上位3重要項目(最重要下位項目)と選択作業体系	最終重要度
G	施設形	園地状態(傾斜程度) > 作業能率(運搬作業) > 作業の質(薬剤散布作業)	0.07
	乗用形		0.69 ←
	歩行形		0.24
Q	施設形	園地状態(傾斜程度) > 作業能率(運搬作業) > 作業の質(薬剤散布作業)	0.52 ←
	乗用形		0.27
	歩行形		0.21
C	施設形	規模適性 > 作業強度(薬剤散布作業) > 作業能率(薬剤散布作業)	0.24
	乗用形		0.35
	歩行形		0.41 ←

注) 1. 最終重要度の数値は、1に近いほど重要度が高い

2. ←は注目値を示す

重要度が他の体系よりも明らかに高い。

対象者Qについては、重要視した項目の順位は対象者Gと同様であるが、園地が傾斜15度以上25度未満の急傾斜地に位置することから、作業の質では乗用形を選択しているものの、園地の傾斜程度および運搬作業能率から施設形体系を選択している。

対象者Cは、規模適性を最も重視しており、その項目に歩行形体系を選択し、次いで薬剤散布作業の作業強度、作業能率を重視し、これらの項目に対しては施設形体系を選択している。最終比較結果では、規模適性の重要度が高いことを反映し歩行形体系の重要度が高い。規模適性の項目で歩行形体系を選択したのは、所有している園地が緩傾斜地から急峻傾斜地まで多様であり、しかも区画数が12と多く、小区画で複雑な園地では歩行形体系が最も適していると判断したためと考えられる。

以上をまとめると、園地までの取付道が整備され、しかも園地の傾斜度が比較的緩く、経営規模の大きい生産者は、資金援助制度を利用して乗用形体系を選択すると思われる。園地の傾斜が急な場合は、施設形体系あるいは歩行形体系が選択され、資金援助が得やすいカンキツ専作地域に位置する生産者は施設形体系を選択すると考えられる。開発した歩行形体系は、園地の傾斜が急で乗用形体系の導入が困難な園地において、経営規模や区画の小さい生産者に選択される作業体系であると判断できる。

以上のように、種々の条件に置かれたカンキツ生産者が作業体系を選択する過程を明らかにすることが示せた。さらに、ここで開発した意思決定支援システムにより、新たに作業体系の導入を検討する生産者が意思決定をする際に、自らの価値判断を整理し、明らかにすることが可能となる。

5 摘要

傾斜地カンキツ生産の条件に適合した体系を選択する際の指針を得るため、階層分析法に基づく対話型の意思決定支援システムを開発するとともに、それをを用いてカンキツ生産農家を対象とする調査を実施し、その結果から、カンキツ生産作業体系選択の意思決定過程を明らかにした。

1) 階層分析法における階層構造の構築や一対比較を対話型で行え、自動的に行列計算をして、結

果を分かりやすく表示できる意思決定支援システムを開発した。

2) 比較するカンキツ生産作業体系を施設形体系、乗用形体系、歩行形体系の3体系に設定し、評価項目として「規模適性」、「作業強度」、「作業能率」、「作業の質」、「園地状態」、「必要経費」、「資金援助」の7項目と、各項目について具体的な下位項目からなる3階層のカンキツ生産体系選択の階層構造を構築した。

3) カンキツ専業農家14名と兼業農家3名の合計17名に対して、意思決定支援システムを用いた調査を実施し、以下の分析結果を得た。

a 作業体系の選択に当たって、最も重要視される項目は「園地状態」であり、作業体系導入に関わる経済性を重視する対象者は少ない。「園地状態」の項目では、園地までの取付道の有無が最重要視され、次に園地の傾斜度であり、区画の大きさについては与件としてとらえられている。

b 「作業能率」や「作業強度」の面において最も改善が求められている作業は、運搬作業と薬剤散布作業である。

c 薬剤散布作業では、スピードスプレーヤが最も有効な作業機と判断されており、開発した風筒式防除機については、スピードスプレーヤが導入できない園地で散布精度を重視される場合に選択される作業機である。運搬作業では、園内に軽トラックを導入することが最も効果的であると判断されている。

d 園地の傾斜が緩く経営面積の大きい生産者は、乗用形体系を選択し、経営面積が広いが園地の傾斜が急で、資金援助を期待する生産者は施設形体系を選択すると判断できる。さらに、歩行形体系は、園地の傾斜が急であり経営規模が比較的小さい生産者に選択される作業体系であると判断される。

VI 結 論

本研究の主目的は、傾斜15度以上25度未満の急傾斜地カンキツ園を対象として、作業の省力化および軽作業化を実現する機械化体系を開発することである。

この目的を達成するために、カンキツ生産の現状調査と急傾斜地園に適合する機械化体系の選択、歩

行形機械化体系における要素技術の開発、歩行形機械化体系の現地実証、カンキツ生産作業体系選択過程の分析を展開した。

本研究の成果は、農林水産省が策定している「AGROKEY21」の「果樹低樹高省力化技術体系」で取り上げられ普及段階に移行するとともに、開発した風筒式防除機は1996年に商品化され、普及させることができた。

以下、本研究の内容を総括して述べる。

1 カンキツ生産の現状と取り上げる機械化体系

1) 我が国のカンキツのおよそ半数は、傾斜15度以上の急傾斜地で栽培されている。急傾斜地園は、排水・風通し・日照が良く、寒気だまりが少ないなど、高品質な果実生産ができる。しかし、急傾斜地カンキツ園は基盤整備がほとんど行われておらず、機械化が立ち後れ、生産者は長時間の重労働を強いられている。しかも、生産者の高齢化や女性化が進行して労働力の脆弱化が進み、産地の崩壊が危惧される状況に至っている。このため、産地では作業の省力化および軽作業化が達成できる機械化体系の開発を強く求めている。

2) 急傾斜地カンキツ園において機械化を図るためには、作業機が走行できる園内作業道が不可欠である。しかし、急傾斜地園において乗用形作業機のための道幅の広い園内作業道の設置は、多額の費用がかかり、掘削法面の崩れや縮間伐による生産量の低下が問題になり、生産者が受け入れ難い。そこで、園内作業道の道幅を狭くできる歩行形作業機を基幹とする機械化体系を取り上げ、本体系の基本を以下のように設定した。

(1) 作業機は機体幅を1m以下の歩行形とし、走行部はクローラ式とする。

(2) 園内作業道は道幅1.0~1.3m、縦断勾配15度以下とし、肋骨状に配置する。

2 歩行形機械化体系のための要素技術の開発

1) 園内作業道の簡易舗装法の開発

歩行形作業機の安定走行を確保するため、低コストな園内作業道の簡易舗装法を検討した。開発した簡易舗装法は、砂利や砂等の骨材を使用しないで、原土に普通セメントと土壌凝固剤を混和して水練り

する工法である。

(1) 土壌に対してセメントを13%、土壌凝固剤を0.3%混和して水練りを行えば、歩行形作業機の走行に支障がない路面が施工できる。

(2) 本工法は歩行形管理機などの営農機械を利用して施工でき、100m²あたりに要する作業時間は5人の組作業で4時間である。舗装資材費は、コンクリート舗装よりも安い。

2) 病害虫防除機の開発

病害虫防除作業の機械化を図るため、風筒式防除機を試作し、その作業特性と省力・軽作業効果を調査した。風筒式防除機はタンク容量が300Lの歩行クローラ式で、その場旋回ができる。薬液の散布方式は、送風機の風を利用した送風散布であり、上下方向の散布角度が調節できるとともに、自動振り散布ができる。

(1) 道幅1m、縦断勾配15度以下の園内作業道が1樹列あるいは千鳥2樹列おきに設置されている園に適合する。散布液の到達性や方向性が高く、振り散布によって葉裏への薬液付着が良い。

(2) 10a当たり500Lの散布量において、有効付着率は約90%と散布精度が高い。作業能率は15a/hである。本機の利用により、慣行の手散布と比較して33%の作業時間の削減と軽作業化を図ることができる。

3) 肥料散布機の開発

肥料散布作業の機械化を図るため、肥料側方散布機を試作し、その作業特性と省力・軽作業効果を調査した。肥料側方散布機は、歩行形クローラ式運搬車に散布装置を装着する搭載型であり、装置の脱着は歩行形運搬車のリフト装置を利用する。肥料ホoppa容量は100Lであり、肥料を機体側方に送風散布できる。

(1) 道幅1m、縦断勾配15度以下の園内作業道が1樹列あるいは2樹列おきに設置されている園に適合する。ペレット状あるいは粒状肥料を散布でき、散布幅は4.6~5mである。

(2) 作業能率は45a/hである。慣行の手散布と比較すると作業時間の短縮は認められないが、労働強度の改善効果は大きい。

4) 収穫作業のシステム分析

園内作業道と歩行クローラ式運搬車の組合せによ

るカンキツ収穫作業のシステム分析を実施し、労働力、運搬車の大きさ、運搬距離が収穫作業時間に与える影響を検討した。対象とした運搬車は、積載コンテナ数が6個の市販機と10個の試作機である。

(1) 1区画20a程度の傾斜果樹園の入口まで軽トラックを入れることができる一般的な果樹園であれば、多くのコンテナを運搬できる運搬車を導入することによる収穫作業時間の短縮効果はほとんど認められない。

(2) 果樹園への取付け道路事情から、運搬車による運搬距離が長くなる場合は、積載量の大きい運搬車を導入することによりわずかではあるが収穫作業時間の短縮効果が発揮される。

(3) 労働力を増すことで大幅な収穫作業時間の短縮が図れる。

3 歩行形機械化体系の現地実証

歩行形機械化体系を愛媛県吉田町の生産現場に導入し、労働強度、作業時間、果実生産量を従来の作業体系と比較調査し、本体系の省力・軽作業効果を明らかにした。

1) 急傾斜地園に舗装した道幅1.0~1.3m、縦断勾配15度以下の園内作業道を肋骨形に設置する園地改良法を示すとともに、本園地改良は生産量を低下させないで施工できることを確認した。

2) 開発した歩行クローラ式の風筒式防除機、リフト付き運搬車・肥料側方散布機を核とする歩行形機械化体系を改良園地へ導入することにより、高品質果実生産を維持しつつ、労働強度の軽減と作業時間の35%削減を実現することができた。

4 カンキツ生産作業体系選択過程の分析

傾斜地カンキツ生産の条件に適合した体系を選択する際の指針を得るため、階層分析法に基づく対話型の意味決定支援システムを開発するとともに、それを用いてカンキツ生産農家を対象とする調査を実施し、その結果から、カンキツ生産作業体系選択の意味決定過程を明らかにした。

分析に当たっては、比較するカンキツ生産作業体系を施設形体系、乗用形体系、歩行形体系の3体系に設定し、考慮すべき項目と3作業体系を意思決定過程として階層構造化した。調査対象者は、ほとん

どがカンキツ専作農家であり、意思決定支援システムを用いた階層分析により、次の点が明らかになった。

1) 作業体系の選択に当たっては、園地までの取付道の有無および園地の傾斜度から導入すべき作業体系を決めなければならない。

2) 改善を強く求めている作業は、運搬作業と薬剤散布作業である。

3) 園地の傾斜が緩く経営面積の大きい生産者は、乗用形体系を選択し、経営面積が広いが園地の傾斜が急で、資金援助を期待する生産者は施設形体系を選択すると判断できる。さらに、歩行形体系は、園地の傾斜が急であり、経営規模が比較的小さい生産者に選択される作業体系であると判断される。

5 摘要

傾斜15度以上25度未満の急傾斜地カンキツ園を対象として、作業の省力化および軽作業化を実現する機械化体系を開発するため、カンキツ生産の現状調査と急傾斜地園に適合する機械化体系の選択、歩行型機械化体系における要素技術の開発、歩行型機械化体系の現地実証、カンキツ生産作業体系選択過程の分析を行った。

1) 我が国のカンキツのおよそ半数は、傾斜15度以上の急傾斜地で栽培されているが、急傾斜地カンキツ園は基盤整備がほとんど行われておらず、機械化が立ち後れ、生産者は重労働を強いられており、生産者の高齢化や女性化が進行して労働力の脆弱化が進み、産地の崩壊が危惧されている。道幅の狭い園内作業道の導入と歩行型作業機による機械化体系の確立が必要とされている。

2) 歩行型機械化体系のための要素技術として、砂利や砂等の骨材を使用しないで、原土に普通セメントと土壤凝固剤を混和して水練りする低コストな園内作業道の簡易舗装法を開発した。病害虫防除作業の機械化を図るため、タンク容量が300Lの歩行クローラ式で、その場旋回ができ、送風機の風を利用し、上下方向の散布角度が調節できる風筒式防除機を開発し、その作業特性と省力・軽作業効果を確認した。さらに、肥料散布作業の機械化を図るため、肥料ホッパー容量は100Lで、肥料を機体側方に送風散布できる肥料側方散布機を開発し、その作業特性

と省力・軽作業効果を確認した。園内作業道と歩行クローラ式運搬車の組合せによるカンキツ収穫作業のシステム分析を実施し、労働力、運搬車の大きさ、運搬距離が収穫作業時間に与える影響を検討した。

3) 歩行型機械化体系を愛媛県吉田町の生産現場に導入し、労働強度、作業時間、果実生産量を従来の作業体系と比較調査し、本体系の省力・軽作業効果を明らかにした。急傾斜地園に舗装した道幅1.0~1.3m、縦断勾配15度以下の園内作業道を肋骨形に設置する園地改良法を示すとともに、本園地改良は生産量を低下させないで施工できることを確認した。開発した歩行クローラ式の風筒式防除機、リフト付き運搬車・肥料側方散布機を核とする歩行型機械化体系を改良園に導入することにより、高品質果実生産を維持しつつ、労働強度の軽減と作業時間の35%削減を実現することができた。

4) 傾斜地カンキツ生産の条件に適合した体系を選択する際の指針を得るため、階層分析法に基づく対話型の意思決定支援システムを開発するとともに、それを用いてカンキツ生産農家を対象とする調査を実施し、その結果から、カンキツ生産作業体系選択の意思決定過程を明らかにした。

5) 以上の一連の研究から急傾斜地カンキツ園に適する歩行型機械化体系が明らかになるとともに、現地での導入効果が高く評価された。

謝 辞

本研究は平成5年から平成9年までの5年間に四国農業試験場で実施した地域先導技術総合研究「傾斜地大規模カンキツ作における快適省力・高品質生産システムの確立」の「小型高性能機械化技術体系の実証」に関わる試験研究の成果を取りまとめたものである。

本論文の作成に当たり、ご指導とご校閲を賜った東京農工大学笹尾 彰教授に謹んで感謝申し上げます。

茨城大学農学部森泉昭治教授、宇都宮大学農学部竹永 博教授、東京農工大学農学部塩谷哲夫教授、同酒井憲司助教授には貴重なご助言とご校閲を賜った。深く御礼申し上げます。

本研究の遂行にあたり、多くの方々にお世話にな

った。当時の川崎 健場長、小野良孝場長からご助言と励ましを頂いた。深甚なる感謝の意を表します。

作業機の試作、現地での園地改良に当たっては、藤川益弘技官、香川将志技官、関 浩二技官、香川信次技官の高度な技術に負うところが極めて大であった。心よりお礼申しあげます。

現地実証試験では、圃場の提供ならびに試作機オペレータをしていただいたカンキツ栽培農家の愛媛県北宇和郡吉田町の石崎英雄氏、香川県三豊郡大野原町五郷の堀口隆嗣氏に厚く感謝の意を表します。また、試験の遂行に当たって、当時の幸瀧文雄組合長、松田六雄生産部長をはじめとする宇和青果農業協同組合、香川豊南農業協同組合の方々の多大なご協力を得た。さらに、簡易舗装技術については日本ソイルテクノ株式会社、風筒式防除機の試作に当たっては株式会社福本ボデーおよび株式会社丸山製作所、肥料側方散布機の試作に当たっては株式会社日進機械の協力を賜った。ここに記し、厚く感謝の意を表します。

引用文献

- 1) 農林水産省統計情報部：平成9年産果樹生産出荷統計，農林水産統計報告11-24（生産-3），212-213，1999
- 2) 農林水産技術会議事務局：果樹栽培の低コスト・省力化技術農林水産研究文献解題No.22，2-21，1999
- 3) 岡部守：兼業化・高齢化に伴う柑橘作労働過程の手抜き化，農村研究，67，109-118，1988
- 4) 高辻豊二：急傾斜地でもらくらくミカン生産，農林水産研究ジャーナル，20(3)，10-13，1997
- 5) 宮崎昌宏：立地条件に応じた園地整備と軽労化の推進のための研究開発の現状と将来展望，全国果樹低樹高省力化技術体系普及推進協議会講演資料集，65-76，1997
- 6) 果樹経営問題研究会：今後の果樹経営の発展に向けて一果樹経営問題研究会報告書一，農林水産省農蚕園芸局果樹花き課編集，1-59，1997
- 7) 宮崎昌宏：急傾斜ミカン園用防除機，現代農業，73(5)，302-305，1994
- 8) 宮崎昌宏：超小型風筒式防除機，平成5年度総

- 合農業の新技术122-126, 1995
- 9) 宮崎昌宏：テクノトピックス 歩行型風筒式防除機, 農業機械学会誌, 59(1), 137-138, 1997
- 10) 宮崎昌宏：風筒式防除機, 農業散布技術, 社団法人日本植物防疫協会, 278, 1998
- 11) 前掲1), 24-25
- 12) 農林水産省農産園芸局果樹花き課：果樹農業に関する資料, 30, 1995
- 13) 農林水産省農産園芸局果樹花き課：果樹農業振興基本方針関連資料集, 219, 1992
- 14) 農林水産省統計情報部：平成6年産農産物生産費調査報告果実生産費, 農林水産統計報告8-33 (経営-11), 40-41, 1996
- 15) 薬師寺清司：みかん園の現状と問題点, 農作業研究, 18, 11-16, 1973
- 16) 竹内 学, 伊藤茂昭, 古川嗣彦：傾斜地みかん園における運搬作業の機械化 第1報運搬車の傾斜地走行性能, 農作業研究, 25, 23-28, 1976
- 17) 竹内 学, 伊藤茂昭, 古川嗣彦：傾斜地みかん園における運搬作業の機械化 第2報排水路兼用路による無人運搬, 農作業研究, 25, 29-33, 1976
- 18) 農林水産技術会議事務局：みかん栽培における収穫運搬の省力化に関する研究, 研究成果103, 2-21, 1978
- 19) 竹内 学：傾斜地みかん園の基盤整備と機械化技術の確立, 農業技術, 40(2), 63-68, 1985
- 20) 福岡喜弘, 村松久雄, 尾崎元扶, 十河 稔：傾斜地かんきつ園の造成に関する研究 III 耕作道型 (かめの甲配置) 斜面畑の造成実証, 農土論集, 26, 36-48, 1968
- 21) 鶴崎 孝, 疋田慶夫：急傾斜柑きつ園における栽培管理の機械・施設化について, 愛媛大学総合農学研究彙報, 24, 43-58, 1982
- 22) モノレール工業協会編：モノレールハンドブック—単軌条運搬機 (モノレール) の構造とその利用法, 日本農業機械化協会, 1995
- 23) 鶴崎 孝：急傾斜カンキツ園における運搬労働特にモノレール車運搬に関する研究, 愛媛大農学部紀要28(1), 54-126, 1983
- 24) 糸川信弘, 岡崎絃一郎, 宮崎昌宏, 長崎裕司, 千種英男：乗用型単軌条運搬機の開発, 農業機械学会誌, 52(1), 85-92, 1990
- 25) 池田富喜夫, 永田賢嗣：カンキツ園の樹上走行モノレールによる管理方式 1.カンキツ園モノレールへの樹体結束効果とスピードスプレイヤによる薬液散布, 四国農業試験場報告, 53, 112-121, 1990
- 26) 岡崎絃一郎, 宮崎昌宏, 長崎裕司, 糸川信弘：樹上走行モノレールによるカンキツ園の農作業自動化, 農業機械学会誌, 58(3), 103-109, 1996
- 27) 山下重良：カンキツ園におけるスプリンクラーの散液特性ならびに装置化に関する研究, 和歌山果園試研報, 4, 28-54, 1976
- 28) 相原和夫：傾斜地柑橘作農業における基盤整備の意義と課題—とくに多目的スプリンクラーの導入・利用に関して—, 愛媛大学経営農学研究 32, 99-114, 1989
- 29) 山下重良：カンキツ園におけるスプリンクラー防除と灌漑法に関する実証的研究, 和歌山果園試特研報, 2, 1-74, 1991
- 30) 農業土木学会編：14.3農用地造成計画, 改訂5版農業土木ハンドブック, 534-537, 1989
- 31) 財団法人経済調査会：土工事, 積算資料, 732, 1995
- 32) 宮崎昌宏：傾斜地用作業機械導入の現状と対策, 果実日本, 53(1), 50-53, 1998
- 33) 行方文吾, 坂上成水, 佐藤祥一, 栗原績：既設砂利道の路面安定について, 農業土木学会誌, 35(10), 11-14, 1968
- 34) 河野恭一：砂利道の表面処理とその効果, 圃場と土壌, 47, 33-43, 1970
- 35) 永石義隆, 宮崎 毅, 原口暢朗, 井上久義：土質安定処理を応用した簡易農道舗装について, 四国農業試験場報告, 45, 183-200, 1985
- 36) 岡崎絃一郎, 宮崎昌宏, 長崎裕司：傾斜地カンキツ園における園内作業道の簡易造成法, 農作業研究, 33(4), 213-219, 1998
- 37) 宮崎昌宏：柑橘園における機械導入と園内作業道の簡易造成法, 果実日本, 50(2), 30-33, 1995
- 38) 村山朔郎, 植下 協, 斎藤 実：路床土支持力比 (CBR値) の簡易測定法としての球体落下試

- 験について，土木学会誌，44(1)，9-13，1959
- 39) 川崎 健，古川嗣彦：傾斜地における超信地操向車両の旋回方式，四国農業試験場報告，35，97-108，1980
- 40) 宮崎昌宏，岡崎紘一郎，長崎裕司，福本 一，福本好博：傾斜地カンキツ園用トラクタの開発，農業機械学会関西支部報，73，21-24，1997
- 41) 官報：スピードスプレーヤの型式検査の主要な実施方法及び基準，1-16，1977
- 42) 前掲23)，48-49
- 43) 伊藤茂昭，竹内 学，川崎 健：傾斜地における特殊運搬車の走行性能と適応性 第1報歩行型クローラ運搬車について，四国農業試験場報告，31，45-56，1978
- 44) 宮崎昌宏，川崎 健，大黒正道：傾斜地における6輪駆動車両の走行性と適応性 とくに旋回性能と不整地対応性の解析を中心にして，四国農業試験場報告，47，54-77，1986
- 45) 宮崎昌宏，川崎 健：傾斜地における4輪駆動車の走行性と適応性 一旋回・操舵性能を中心にして一，四国農業試験場報告，51，12-30，1988
- 46) 宮崎昌宏，猪之奥康治，長崎裕司：肥料散布装置，実用新案，登録3019714号，1995
- 47) 宮崎昌宏：傾斜地カンキツ園用搭載型肥料散布装置，平成7年度総合農業の新技術，9，184-189，1996
- 48) 佐藤純一，増田自策：広幅施肥機の開発，草地試験場研究報告25，75-87，1983
- 49) 前掲23)，54-57
- 50) 鶴崎 孝，垂井不二男：柑橘の低樹高化と収穫作業の省力化，愛媛大学経営農学研究，34，1-18，1991
- 51) 鶴崎 孝：果樹園における作業道の設置と省力的効果に関する研究，SDERD，土地改良測量設計技術協会編，41，15-21，1995
- 52) 農林水産技術会議事務局：傾斜地大規模カンキツ作における快適省力・高品質生産システムの確立，研究成果，346，26-37，1999
- 53) 高辻豊二：傾斜地カンキツ作の軽労型高品質生産システム，農業技術，52(2)，152-157，1997
- 54) 宮崎昌宏：傾斜地柑橘園機械化の進展と今後の方向，農業技術，52(5)，206-210，1997
- 55) 宮崎昌宏：傾斜地かんきつ園における小型機械化体系，平成9年度総合農業の新技術，11，314-318，1998
- 56) 関野幸二，猪之奥康治，高辻豊二：カンキツ作経営における園内作業道・小型機械化技術導入の経済効果，農業経営研究，36(2)，89-94，1998
- 57) Masahiro MIYAZAKI：Mechanized Farming for Slope Land Orchards 1. Japan，Food and Fertilizer Technology Center Extension，452，1-8，1998
- 58) 小林 恭，窪田哲夫，竹下孝史，菊岡俊彦：新剤形除草剤散布作業の労働負担，農作業研究，30(別1)，71-72，1995
- 59) 石崎英雄：急傾斜地みかん産地機械化栽培経営の展望，うわみかん，31(3)，14-17，1996
- 60) 農林水産省四国農業試験場：楽しくておいしいみかん作り，技術紹介ビデオ(13分)，1997
- 61) Yoram Wind，Thomas L. Saaty：Marketing Applications of The Analytic Hierarchy Process，Management Science，26(7)，641-658，1980
- 62) Thomas L. Saaty，Masahiro Takizawa：Dependence and Independence: From Linear Hierarchies to Nonlinear Networks，European Journal of Operational Research 26，229-237，1986
- 63) 真鍋龍太郎：階層化意思決定法AHP (Analytic Hierarchy Process)，オペレーションズ・リサーチ，1986年8月号，474-478，1986
- 64) DIGITAL TALK：Smalltalk V Programming Reference，Digitalk Inc. 1994
- 65) 宮崎昌宏，石束宣明：意思決定支援システムの開発とその適用によるカンキツ生産作業体系選択過程の分析，農作業研究，34(3)，191-201，1999
- 66) 岸本 功：長崎県における柑橘園の省力化の方向と問題点，果実日本，53(1)，46-49，1998
- 67) 松下秀介：温州みかん作における省力化技術導入の効果，中国農試農業研究，120，92-99，1997

Research on the Development of Mechanized Production System for Steep Sloping Citrus Orchards

Masahiro MIYAZAKI*, Koichiro OKAZAKI, Noriaki ISHIZUKA**,
Toyoji TAKATSUJI***, Koji INOOKU, Koji SEKINO,
Hiroshi YAMAMOTO****, Yuji NAGASAKI*****, Hiroaki TANAKA and Osamu SUMIKAWA

Summary

The objective of this research is to develop a mechanized production system which enables to reduce hours as well as improve the working conditions for steep sloping citrus orchards that are located on the slope steepness 15 to 25°. During the research the following activities were performed:

- (1) Investigation on the present situation of citrus production and a mechanized production system for steep sloping orchards.
- (2) Development of fundamental techniques required for a mechanized production system.
- (3) Evaluation on reducing hours and hardness of work by a mechanized production system.
- (4) Analyzing the process of selecting operation systems for citrus production.

1. Present situation of citrus production and a mechanized production system.

Citrus orchards with the largest quantities among in Japanese fruit industries, are remarkably spread in steep sloping land. Since steep sloping orchards are well-drained, exposed to sunshine, and well ventilated, farmers can grow sweet citrus fruits that fetch a high price. However, the mechanization of such orchards has been lagging behind because the use of machinery is difficult and sometimes even dangerous due to the steep gradients and high-density planting. As a result, farmers had to tend their orchards by hand, spending long hours stooped over their trees. Moreover, farming is facing growing problems due to the shortage of efficient farmers associated with increase of farmer's average age and decrease of the number of young people. Therefore the abandoned orchards are increasing. To cope with these problem, a new mechanized production system is in great demand for farmers.

To mechanize steep sloping orchards, it is primarily necessary to construct passages for agricultural machines. The construction of wide farm roads or paths to allow the passage of large sized machines is not suitable on steep sloping orchards because the construction costs are high and there is a risk of landslide. Furthermore, the total

Department of Hilly land Agriculture

*National Institute of Vegetable and Tea Science

**Shimane University

***National Institute of Fruit Tree Science

****National Institute of Livestock and Grassland Science

*****National Agricultural Research Center

yield from the orchards decreases because many trees have been cut to make space for machinery. Therefore, a walking-type machinery production system (WMPS) which needs narrow farm paths will be adopted for steep sloping orchards. The fundamental designs of the WMPS are as following;

- 1) The basic specification of machines ;(a) The operator does not ride on the machine, but walk behind it. (b) Use of crawler treads, rather than wheel.(c) The machine has a very small turning circle.(d) Overall width of machine is less than 1.0 m.
- 2) The design of construction farm path ;(a) Width of path is 1.0 to 1.3 m.(b) Gradient of path is less than 15° .(c) Layout is rib pattern which the connection path acts as a backbone, while working paths are located laterally to connection path.

2. Development of fundamental techniques for WMPS.

1) Low cost pavement of farm path

To allow machines to travel smoothly, a low-cost cement aggregate pavement using soil from the orchards itself instead of gravel and sand brought in from outside was developed. The cement is mixed with a coagulant powder, water, and soil, and smooth down the surface.

- (1) The optimum mixing ratio of soil, cement, and coagulant in pavement materials is 100 : 13 : 0.3, respectively. Pavement depth is 7 - 10 cm. This pavement is considered to be enough for machines of WMPS.
- (2) This pavement can be carried out using such as rotary tiller and power sprayer. The farm path is constructed at a rate of 25 m²/h with a team of five workers.

2) Mechanization of pest and disease control

In order to reduce the works of pest and disease control, an air-blast sprayer was developed. The sprayer has crawler treads with a pivot turning mission. It is equipped with a power sprayer and an axial fan, and emits a fine and dense chemical mist. The operator can direct the spray precisely onto the target by controlling the direction of a fan drum, that can be adjusted freely between 35° upward 20° downward. This sprayer has a liquid chemical tank with the capacity of 300 l.

- (1) This sprayer can be adapted to the farm paths for WMPS. Air turbulence associated with the fan drum swinging automatically shakes the leaves of trees, so that chemical spray adheres to both sides of leaves.
- (2) The deposit ratio was about 90% on both side application in one row of trees or two row of zig-zag trees. The working efficiency was 15 a/h, which showed about 33% reduction of working hours. The use of the sprayer enabled to improve the labor intensity required for pesticide application by comparison with the power sprayers with long hoses.

3) Mechanized fertilizer application

In order to improve the work of fertilizer application, a fertilizer spreader for side dressing which was a mounted type fertilizer unit attached on the bed of the transporter was developed. The capacity of the hopper of the fertilizer is 100 l. Granular or pellet type fertilizer metered through an auger attached the bottom of the hopper is led to a discharge pipe and blown out with air from a centrifugal fan. Mounting and unmounting the unit on the bed of transporter are easy operation, because of the transporter's hydraulic lift system.

- (1) This machine can be adapted to the farm paths for WMPS. The maximum discharged capacity is 25 kg/min and the width of application is 4.6 -5.0 m.

(2) Fertilizer can be applied at a rate of 100 to 150 kg/10a with a working efficiency of 45 a/h. The labor intensity required for fertilizer application was obviously reduced by the use of this spreader.

4) System analysis on harvesting operation

This verse shows the comparison between two types of transporters carrying different numbers of containers, 6 and 10, for harvesting. They are used on a narrow path on a steep sloping orchard in order to improve the harvesting operation.

Since the harvesting operation of fruits is a complex system influenced by a capacity of the transporter, the transporting distance, and the number of workers, we applied a systems analysis method of building a computer model and simulating the operation. The model was programmed by Visual Smalltalk, which is known as an object-oriented programming environment.

The results of the computer simulation were summarized as follows.

(1) Not all the bigger type transporter with 10 containers had higher efficiency than the one with 6, in case of a 20a field lot with a wide road enough for a light track in a common sloping orchard.

(2) In the cases, which require long transportation over 100 m to a light track, the bigger type transporter gives a slightly higher efficiency.

(3) Introduction of additional labors brings a drastic reduction in harvesting time.

3. Evaluation on reducing hours and hardness of works by WMPS

To confirm the advantages of WMPS, we set up a model orchard in an actual farmer's orchard with a mean slope gradient of 25° at Yoshida town, Ehime prefecture. The model orchard of 1.0 ha was improved by adopting the developed farm path system. The working path was placed at an interval of every two rows, with a path density of 1.2 km/ha.

Field experiments were conducted to determine the labor intensity of each operation and the yearly working hours by comparison with a conventional production system for four years. Investigations of yield and selling price for the model orchard were also performed to evaluate the productivity compared with the area average. The results of investigation were summarized as follows.

1) The process for improving by the construction of paved farm path with 1.0 to 1.3m width and under 15° of gradient was shown. The rate of removed trees for the construction of the path was only 6.5-11.3%. The improvement of citrus steep sloping orchards for the WMPS didn't cause yield reduction in spite of some thinning of citrus trees.

2) The WMPS using an air-blast sprayer, a lift transporter and a side distributor were proposed for steep sloping orchards. The tests showed that WMPS enabled to reduce yearly working hours by 35% as well as improve the working conditions without a decline the quality of fruits and yield. These results indicate that the introduction of this system enabled to avoid hard manual labor required for the maintenance of orchards on steep sloping orchards and extended the scale of farm operation.

4. Analyzing the process of selecting an operation system for citrus production

In order to make a guideline for selecting an appropriate operation system for citrus production in sloping orchards, the decision support system, which was based on the Analytic Hierarchy Process method, was developed by using the Visual Smalltalk. The process of decision making by using the support system was shown.

The three types of production systems, which are a facility type, a riding machinery type and the WMPS were

analyzed. The facility type is composed mostly of sprinkler pipelines and monorail transport lines. The riding machinery type is constituted mainly of a speed sprayer and a light truck. The WMPS is composed of an air-blast sprayer and a crawler type transporter in the main. The hierarchical structure concerned with decision making process was constructed, and then the following results were obtained through the survey on orchard managers by using the decision support system.

- 1) To select the appropriate one from the three production systems, the connection roads to orchards and the gradients of fields should be considered.
- 2) The works of chemical application and transportation are especially demanded to rationalize.
- 3) Managers having comparatively a large household scale in gentle sloping areas select the riding machinery type. The facility type is selected by managers having comparatively a large household scale in steep sloping areas and having the demand financial supports. Managers having a smaller household scale in steep sloping areas select the WMPS.

①普通セメント散布



④散 水



②土壌凝固剤散布



⑤水練り



③攪拌・混合



⑥均 平



写真1 簡易舗装の作業工程

手散布



風筒式防除機



写真2 薬剤散布の作業状況（1園）



写真3 風筒式防除機（市販機）



写真4 散布装置の脱着方法

手散布



肥料側方散布機



写真5 肥料散布の作業状況 (1園)

市販機



試作機



写真6 クローラ式小形運搬車の外観



写真7 小形バックホーによる掘削・整形



写真8 改良園地の概況



写真9 第4期工事区の園内作業道



写真10 歩行形体系のコンテナ積み替え作業



写真11 慣行体系のコンテナ積み替え作業

慣行体系区



歩行形体体系区



写真12 草刈り作業状況

慣行体系区



歩行形体体系区



写真13 除草剤散布作業状況

Control of Thermoacidophilic *Alicyclobacillus acidoterrestris* by Barley and Wheat α - and β -Thionins

Shigeru OITA

Key words: thionin, *Alicyclobacillus acidoterrestris*, antibacterial peptide,
fruit juice, thermoacidophilic bacteria

Contents

I Introduction	49
II Materials and Methods	50
1 Purification of α - and β -hordothionins	50
2 Assay for antibacterial activity	50
3 Extraction of α - and β -hordothionins by citric and malic acids	51
III Results	51
1 Growth inhibition of <i>A. acidoterrestris</i> by purified α - and β -thionins	51
2 Extraction of α - and β -hordothionins by citric and malic acids	52
3 Control of <i>A. acidoterrestris</i> in satsuma mandarin juice by barley extracts	53
IV Discussion	53
References	55
Summary	58
和文摘要	59

I Introduction

Recently, the spoilage of fruit juice by thermoacidophilic spore-forming bacterium *Alicyclobacillus acidoterrestris* has been observed worldwide. Fresh fruit juice and juice concentrates are often contaminated with spores of *A. acidoterrestris*^{5),18)}, and they have survived after pasteurization^{21),25)}. The bacterium produces an off-odor compound, guaiacol^{17),18)}, but not any toxin in fruit juice.

The growth of *A. acidoterrestris* in fruit juice has been regulated by nisin which is an antibacterial peptide from *Lactococcus lactis* subsp. *lactis*^{9),26)}. Sodium hypochlorite killed the spores¹⁶⁾, and egg white lysozyme reduced the heat-tolerance of the spores²⁵⁾. To prevent the spoilage of fruit juice by *A. acidoterrestris*, ultra high-temperature heat-treatment (UHT) is the most effective since this bacterium has not been found in any commercial UHT juice¹⁸⁾. However, the UHT usually spoils flavor of fruit juice. There-

(Received October 5, 2001)

Department of Regional Crops Science

fore, the control of *A. acidoterrestris* by the combinational treatment of antibacterial substances from agricultural products and pasteurization are examined in this study.

Barley and wheat seeds contain peptides of α - and β -thionins, which consist of 45 amino acids and inhibit the growth of various microorganisms⁶⁾, but there are only a few reports on the inhibition to Gram-positive bacteria. In particular, the growth inhibition of *A. acidoterrestris* by the thionins has not been reported at all. The α - and β -thionins were also heat-stable¹⁵⁾ and extractable from barley and wheat flours by 0.05 N H₂SO₄¹⁵⁾ and by 0.05-0.2 N HCl¹³⁾. Barley and wheat α - and β -thionins are also called as α - and β -hordothionins and α - and β -purothionins, respectively. Most fruit juices originally contain citric and malic acids, which are widely used as food additives. If the α - and β -thionins are inhibitive to *A. acidoterrestris* and are extractable by citric and malic acids from barley and wheat flours, the crude extracts containing α - and β -thionins may prevent spoilage of fruit juice by *A. acidoterrestris*. This report describes growth inhibition of *A. acidoterrestris* by the α - and β -thionins, extraction of the α - and β -thionins from barley grains by citric and malic acids, and control of *A. acidoterrestris* in fruit juice by the addition of the extracts.

II Materials and methods

1 Purification of α - and β -hordothionins

α - and β -Hordothionins were purified from a barley cultivar "Ichibanboshi". The grains were milled by a Cyclotec 1093 sample mill with 1 mm ϕ mesh screen. Milled barley flour was washed twice in a 20 mM phosphate buffer (pH 7.2) containing 1 mM thiourea at 4°C for 1 h. It was then extracted with the phosphate buffer containing 0.5 M NaCl for 2 h. The α - and β -hordothionins in the extracts were precipitated by adding crystal ammonium sulfate until a saturation of 50% to 90% was obtained. They were then purified by high-performance liquid chromatography

(HPLC) with a column of Wakosil 5C4-200 (Wako, Osaka, Japan) using a gradient solvent system of 0-40% (0-50 min) acetonitrile containing 0.1% trifluoroacetic acid at 0.5 ml/min by monitoring of OD₂₂₄. Each fraction (0.5 ml) was dried out with a centrifu-

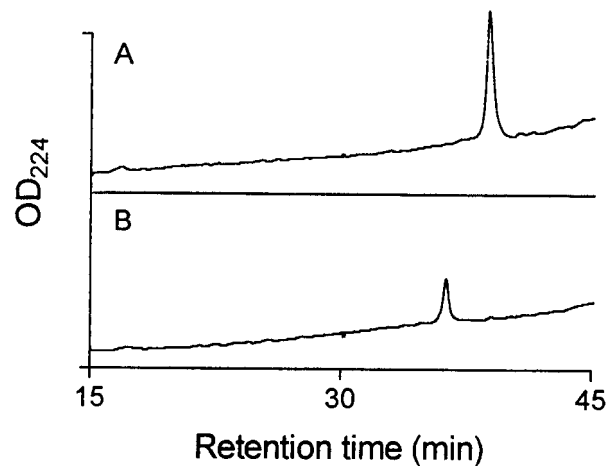


Fig.1 HPLC profiles of purified α - and β -hordothionins. A: α -hordothionin; B: β -hordothionin; column: Wakosil 5C4-200; gradient solvent: 20-40-50% (0-30-35 min) acetonitrile containing 0.1% trifluoroacetic acid.

gating evaporator. To prepare the stock solution, α - and β -hordothionins were dissolved with autoclaved distilled water. Portions of the stock solutions were re-analyzed by HPLC (Fig. 1).

2 Assay for antibacterial activity

A. acidoterrestris ATCC 49025 was pre-cultured at 37°C for two days in a yeast-peptone-glucose broth (YPGB: yeast extract, 2.5 g; polypeptone, 5 g; D-glucose, 1 g; MgSO₄ · 7H₂O, 0.5 g; KCl, 2 g; distilled water, 1,000 ml) at pH 4²⁵⁾. The pre-culture was heated at 60°C for 1 h to activate spores and inactivate vegetative cells²¹⁾. A portion of the heated pre-culture containing 5 × 10⁴ spores was inoculated into 1 ml of YPGB, which was supplemented with 1-100 μ g/ml of purified α - and β -thionins. Purified α -purothionin was purchased from Takara Biochemical, Shiga, Japan. α -Purothionin is further classified to α 1- and α 2-purothionins⁶⁾. The purchased α -purothionin

was identified as α 1-purothionin by amino acids composition analysis¹⁴. The minimal inhibitory concentration (MIC) was defined as the minimal concentration at which no increase of OD₅₉₀ in the broth was observed after two days of incubation at 37°C. The viable cells were indicated by colony forming unit (CFU). CFU was counted using potato dextrose agar (Wako, Osaka, Japan) (PDA) plates containing 0.1% DL-malic acid. Autoclaved PDA was mixed with a sterile malic acid solution prior to plating, and the pH of medium changed to around 3.8. Samples were diluted with a 150 mM NaCl solution and were spread on the PDA plates. Colonies on the plates were counted after three days of incubation at 37°C.

Peeled satsuma mandarin and an apple cultivar "Fuji" were homogenized by High Power Homogenizer II (Hirosawa Iron Works, Tokyo, Japan). After centrifugation (10,000 g for 1 min), the supernatants were used for the antibacterial assay. In the assay for antibacterial activity in fruit juice, *A. acidoterrestris* was pre-cultured at 37°C for three days in fresh 100% satsuma mandarin juice (12.3° Brix, pH 3.5), 30% dilution of apple juice (4.2° Brix, pH 3.7), or commercial mixed fruit-vegetable juice (9.2° Brix, pH 4.2) containing juices of carrot and apple, etc. The strain ATCC 49025 did not grow in fresh 100% apple juice (13.7° Brix, pH 3.6), but grew in the 30% dilution of apple juice. The dilution of apple juice was prepared by diluted with distilled and autoclaved water. The pre-culture and fruit juices containing α - and β -thionins or barley extract were separately heated at 80°C for 10 min¹⁸ before inoculation. The juice in 2 tubes was inoculated with a portion of the pre-culture and was incubated at 37°C. The CFU was counted as shown above and the MIC was defined as the minimal concentration at which no increase of the average CFU after two days of incubation at 37°C.

3 Extraction of α - and β -hordothionins by citric and malic acids

Barley grains were milled by the same method in the purification of α - and β -hordothionins. Milled

flours (1 g) were mixed with 4 ml of 0.05-0.2 M citric acid or 0.2 M DL-malic acid, and the mixtures were incubated for 30 min at 20°C with 10 sec of vortexing every 10 min. After centrifugation at 2,000 g for 1 min, the supernatant (2.6ml) of the mixture was stored at -30°C until it was added to the fruit juice. A portion (2.5 μ l) of the extract was analyzed by SDS-PAGE and silver staining¹⁴. To compare the amount of α -hordothionin in the extracts, another portion (50 μ l) of the extracts was fractionated by HPLC under the same conditions for the purification of α - and β -hordothionins. The fractions containing α -hordothionin were dried out by a centrifuging evaporator and were dissolved with 50 μ l of distilled water. A portion (5 μ l) of the sample was loaded to SDS-PAGE. The amount of extracted α -hordothionin was compared by area and density between silver-stained bands in the gels.

III Results

1 Growth inhibition of *A. acidoterrestris* by purified α - and β -thionins

The MIC of α - and β -thionins against *A. acidoterrestris* in YPGB was 5 μ g/ml for α -hordothionin and α -purothionin, and 10 μ g/ml for β -hordothionin. α -Purothionin (20 μ g/ml) reduced the CFU in YPGB from 5×10^4 /ml to 1×10^3 /ml for 6 h, and the reduced CFU was maintained for three days (Fig. 2). The CFU in the medium without α -purothionin was the highest after 24 hr of the incubation, but decreased after 48 and 72 hr of the incubation (Fig. 2). The pH of the medium after 72 hr of the incubation was 6.5, and the pH elevation was probably attributed to bacterial conversion of polypeptone to ammonia. The reduction of CFU may be caused by the neutral pH of the medium, because the growing pH range of *A. acidoterrestris* was 3.0-6.0²¹.

The MIC of α - and β -hordothionins and α -purothionin against *A. acidoterrestris* in the satsuma mandarin juice was all 15 μ g/ml. The reduction of the CFU by 20 μ g/ml α -purothionin in three kinds of

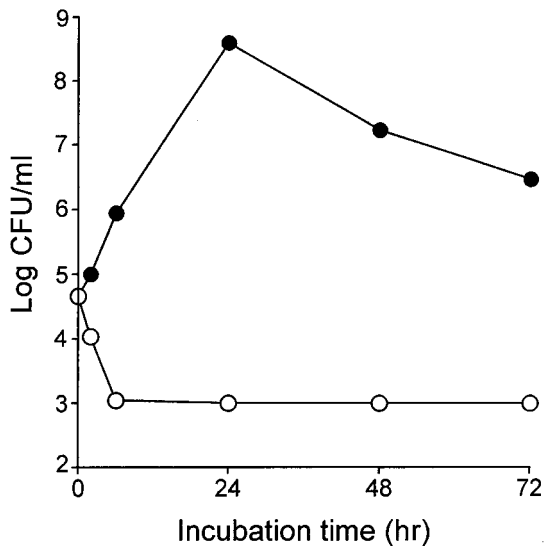


Fig. 2 Growth inhibition of *A. acidoterrestris* by α -purothionin in YPGB. Open circles: 20 μ g/ml α -purothionin; closed circles: no thionin.

fruit juice is shown in Fig. 3. The CFU in the satsuma mandarin juice with α -purothionin decreased from 3×10^5 /ml to 100/ml after a three-to-five-day incubation at 37°C. A similar inhibition was shown in the mixed fruit-vegetable juice, but the inhibition was relatively weak in the 30% dilution of apple juice. The viable cells in the dilution of apple juice containing α -purothionin decreased after one day of incubation, but they gradually increased for two-to-five days.

2 Extraction of α - and β -hordothionins by citric and malic acids

α - and β -Hordothionins were extracted from barley flour by 0.2 M citric acid and malic acid (Photo. 1). Since the difference of molecular weights between α -hordothionin and β -hordothionin was only 41 Da⁶, α - and β -hordothionins were detected at the same position in this gel. The citric and malic acid extracts seem to contain similar total amounts of α - and β -hordothionins. A concentration of citric acid higher than 0.2 M and/or an extraction time in excess of 30 min caused viscose extract, which seemed to be unsuitable for addition to fruit juice.

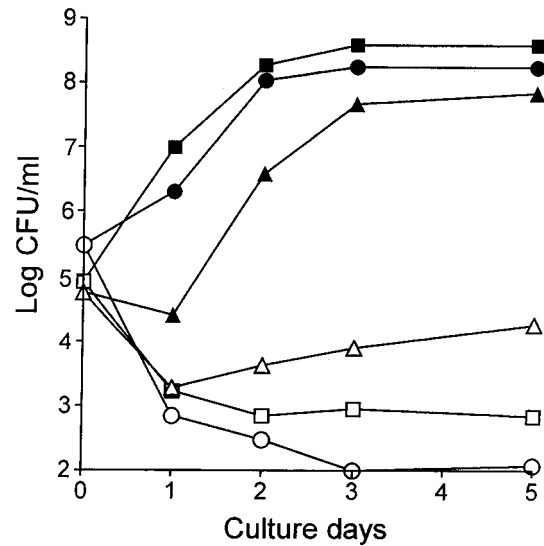


Fig. 3 Growth inhibition of *A. acidoterrestris* by α -purothionin in fruit juice. Circles: satsuma mandarin juice; triangles: 30% dilution of apple juice; squares: commercial fruit-vegetable juice mixture; open symbols: 20 μ g/ml α -purothionin; closed circles: no thionin.

These extracts also contained considerable amounts of proteins other than α - and β -hordothionins, and the protein composition was different between these extracts.

α - and β -Hordothionins in the extracts were separated by HPLC (Fig. 4) but the amounts of α - and β -

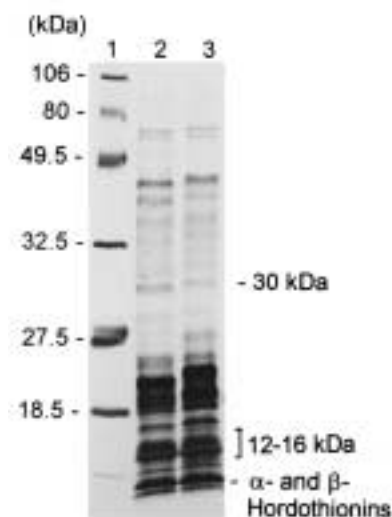


Photo. 1 SDS-PAGE of barley extracts. Lane 1: marker proteins; 2: 0.2 M citric acid extract; 3: 0.2 M malic acid extract.

hordothionins were difficult to estimate by peak area because the baseline of the two peaks of α - and β -hordothionins is obscure. To estimate the amounts of α -hordothionin in the HPLC fractions, the fractions were analyzed by SDS-PAGE (Photo. 2). α -Hordothionin was detected in the HPLC fractions from the extracts of 0.5-0.2 M citric acid and of 0.2 M malic acid, but not of distilled water. These HPLC fractions were still contaminated with unknown 20 kDa proteins, and the band position of the proteins was slightly different between the extracts of citric and malic acids. The HPLC fraction of the 0.2 M citric extract contained larger amount of α -hordothionin than that of the 0.05 and 0.1 M citric acid extracts and almost equal amount of α -hordothionin compared with that of the 0.2 M malic acid extract.

3 Control of *A. acidoterrestris* in satsuma mandarin juice by barley extracts

The effect of the barley extracts with 0.2 M citric and malic acids on the growth of *A. acidoterrestris* in the satsuma mandarin juice was shown in Fig. 5. When the satsuma mandarin juice was inoculated

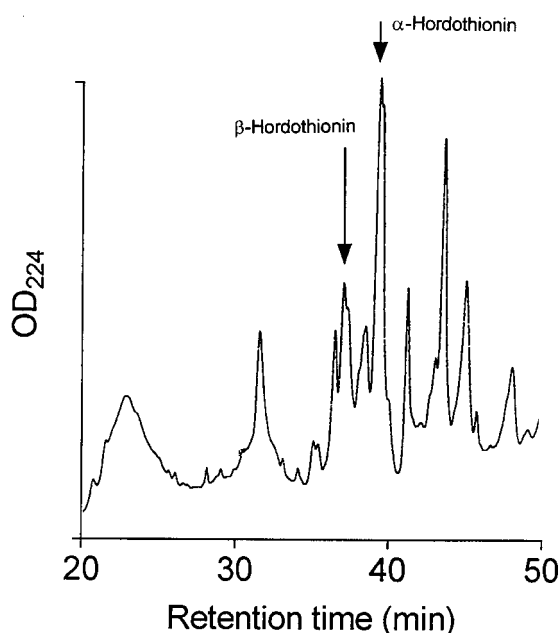


Fig.4 HPLC profile of 0.2 M citric acid extract from barley grains.

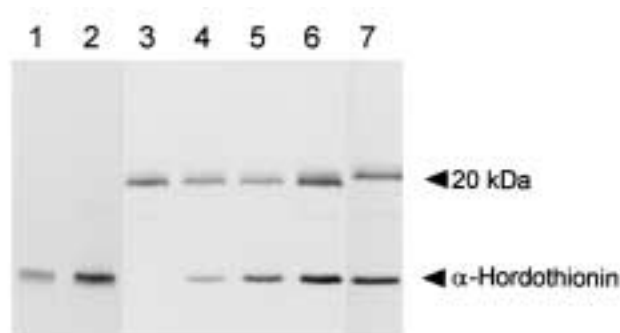


Photo.2 SDS-PAGE of HPLC fractions containing α -hordothionin. Lanes 1 and 2: standard α -hordothionin (1: 0.2 μ g; 2: 0.5 μ g); 3: water extract, 4-6: citric acid (4: 0.05 M; 5: 0.1 M; 6: 0.2 M) extracts; 7: 0.2 M malic acid extract.

with about 2×10^5 spores/ml of *A. acidoterrestris*, the average CFU after 2 days of incubation increased in the orange juice containing 1% and 2% of the citric acid extract but decreased in the juice containing 3% and 5% of the extract (Fig. 5A). The average CFU of *A. acidoterrestris* in the satsuma mandarin juice containing 3% of the citric and malic acid extracts was regulated under 1×10^4 after 5 and 10 days of incubation (Fig. 5B). The 3% addition of the citric and malic acid extracts in the juice caused a little pH reduction from 3.6 to 3.5, and such pH difference did not affect the growth of the bacterium²¹.

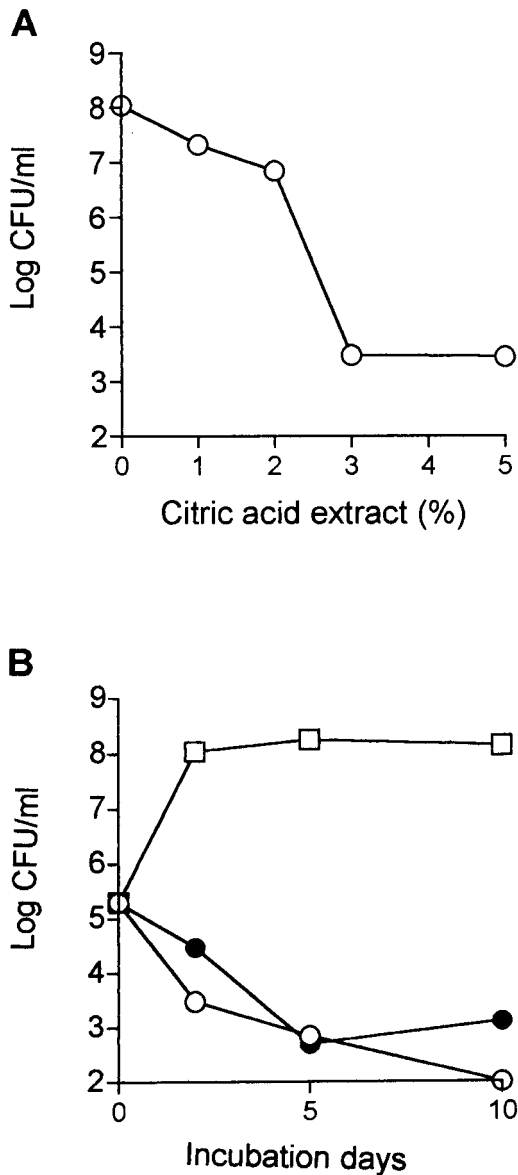


Fig.5 Growth inhibition of *A. acidoterrestris* by addition of barley extracts in satsuma mandarin juice. A: CFU after 2 days of incubation in the juice containing barley-0.2 M citric acid extract. B: open circles: 3% addition of the barley-0.2 M citric acid extract; closed circles: 3% addition of the barley-0.2 M malic acid extract; squares : no addition.

IV Discussion

The relation of *A. acidoterrestris* cell population and guaiacol accumulation in fruit juice has been reported^{17,18}. When the bacterium was grown at a rate exceeding 1×10^5 /ml in fruit juice, the fruit juice con-

tained a sufficient amount of guaiacol that had a noticeably tainted odor¹⁸. Another report indicated that the guaiacol content in apple juice did not always correlate with the number of cells, whereas the minimum cell population for sensory taint was about 1×10^4 /ml¹⁷. Therefore, to keep the cell population of *A. acidoterrestris* under 1×10^4 /ml prevents the spoilage of fruit juice, even if fruit juice is contaminated with some spores of *A. acidoterrestris*. Purified α -purothionin ($20 \mu\text{g}/\text{ml}$) regulated CFU in the satsuma mandarin juice and the mixed fruit-vegetable juice under 1×10^3 /ml after 5 days of the incubation at 37°C (Fig. 3). Although a slight difference in the average CFU was observed between the satsuma mandarin juice and the mixed fruit-vegetable juice, the cause is unknown. Also, 3% addition of the barley extracts with 0.2 M citric and malic acids regulated the average CFU in the satsuma mandarin juice under 1×10^3 /ml after 5 days of the incubation (Fig. 5B).

In contrast, the inhibitory effect of α -purothionin against *A. acidoterrestris* was relatively weak in the 30% dilution of apple juice (Fig. 3). Apple juice contained a considerable amount of tannin²², which had ability to co-precipitate with various proteins¹⁰. Therefore, α -purothionin added in apple juice may be co-precipitated with tannin and lose the antibacterial activity. Although many strains of *A. acidoterrestris* were grown in apple juice^{9,17,18,21,26}, the strain of ATCC 49025 was not grown in 100% juice of the apple cultivar "Fuji" in this study. If many other strains of *A. acidoterrestris* are not grown in the apple juice, "Fuji" may be resistant to this bacterium.

Most fruit juice originally contains citric acid and/or malic acid, and the total concentration of these acids is around 1%. 0.2 M citric and malic acids correspond to 3.8% and 2.7% of the acids. The 3% addition of the 0.2 M citric or malic acid extract raises the concentration of citric acid (0.11%) or malic acid (0.08%) in fruit juice.

In Photo. 2, the silver-stained band of purified α -hordothionin ($0.5 \mu\text{g}$) was wide but pale compared

with the band of α -hordothionin in the HPLC fraction from the barley-0.2 M citric acid extract. If the amount of α -hordothionin in the HPLC fraction from the barley-0.2 M citric acid extract is maximally evaluated as 0.5 μ g and the extract contains about a half amount of β -hordothionin (Fig. 3), the extract originally contains about 100

μ g/ml of α -hordothionin and 50 μ g/ml of β -hordothionin. Since the MIC of α - and β -hordothionins against *A. acidoterrestris* in the satsuma mandarin juice was 15 μ g/ml, 10% addition of the barley-0.2 M citric acid extract seemed to be required for the control of the bacterium in the juice. However, *A. acidoterrestris* in the satsuma mandarin juice was actually controlled by 3% addition of the extract (Fig. 5). This result suggests that the barley extract contains antibacterial substances other than α - and β -hordothionins.

Barley seeds contain various antifungal proteins other than α - and β -hordothionins. A 30 kDa antifungal ribosome-inactivating protein (RIP) was extractable from barley seeds by 60 mM acetic acid¹⁹. RIP of an Andean crop *Milabilis expansa* inhibited the growth of a Gram-positive bacterium *Bacillus subtilis*²⁴, and the ribosomes of a Gram-negative bacterium *Escherichia coli* were inactivated by wheat leaf RIP, but not by wheat seed RIP¹¹. Photo. 1 indicates that the barley extracts contained 30 kDa proteins. These reports and result suggest that the barley extracts using 0.2 M citric and malic acids may contain RIP, and the RIP possibly inhibit the growth of *A. acidoterrestris* in fruit juice. However, the heat-tolerance of barley RIP is unknown.

Antifungal radish 2S albumin and barley 2S albumin-like and Bowman-Birk inhibitors had synergistic antifungal effect with α -purothionin²³. The radish 2S albumin alone inhibited the growth of a Gram-positive bacterium *Bacillus megaterium*, however, the antibacterial effect of the barley 2S albumin-like and Bowman-Birk trypsin inhibitors from barley has not been described²³. Moreover, no synergistic antibacterial effect of the radish 2S albumin and α -puroth-

ionin was observed²³. Barley seeds also contained antifungal proteins, i.e. chitinase^{12,19}, β -glucanase¹², thaumatin-like protein⁸, non specific lipid transfer protein⁴, and puroindoline⁴, but the antibacterial activity of these proteins alone has not been observed. However, synergistic antibacterial effect of α - and β -hordothionins and other antifungal proteins from barley is not yet examined.

Purified α - and β -purothionins were toxic to cultured mammalian cells⁶, but the oral administration of α - and β -purothionins to guinea pigs (103-229 mg/kg body weight) indicated no symptom within seven days³. This may be because α - and β -purothionins are digested by trypsin and chymotrypsin¹³. However, more study on safety of α - and β -thionins from barley and wheat is required. The citric and malic acid extracts of the barley grains contained considerable amounts of 12-16 kDa proteins (Photo. 1), which possibly include the trypsin/ α -amylase inhibitor family¹. Since α - and β -thionins of barley and wheat are digestible by trypsin¹³, these thionins have not been reported to be allergenic for human. In contrast, the trypsin/ α -amylase inhibitors are major allergens associate with baker's asthma^{7,20}. The inhibitors are not denatured by pasteurization because of heat- and acid-stabilities².

References

- 1) Barber, D., G.G. Limas, J.G. Gavilanes and E. Mendez 1988. Isolation and characterization of thirteen new salt-soluble proteins from barley by reversed-phase high-performance liquid chromatography. *Planta* 176:221-229.
- 2) Boisen, S. 1983. Comparative physico-chemical studies on purified trypsin inhibitors from the endosperm of barley, rye, and wheat. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* 176:434-439.
- 3) Coulson, E.J., T.H. Harris and B. Axelrod 1942. Effect of small laboratory animals of the injection of the crystalline hydrochloride of a sulfur protein from wheat flour. *Cereal Chem.* 19:301-307.

- 4) Dubreil, L., T. Gaborit, B. Bouchet, D.J. Gallant, W.F. Broekaert, L. Quillien and D. Marion 1998. Spatial and temporal distribution of the major isoforms of puroindolines (puroindoline-a and puroindoline-b) and non specific lipid transfer protein (ns-LTP1e₁) of *Triticum aestivum* seeds. Relationships with their in vitro antifungal properties. *Plant Sci.* 138:121-135.
- 5) Eiroa, M.N.U., V.C.A. Junqueira and F.L. Schmidt 1999. *Alicyclobacillus acidoterrestris* in orange juice: occurrence and heat resistance of spores. *J. Food Protect.* 62:883-886.
- 6) Florack, D.E.A. and W.J. Stiekema 1994. Thionins: properties, possible biological roles and mechanisms of action. *Plant Mol. Biol.* 26:25-37.
- 7) Gomez, L., E. Martin, D. Hernandez, R. Sanchez-Monge, D. Barber, V. del Pozo, B. de Andres, A. Armentia, C. Lahoz, G. Salcedo and P. Palomino 1990. Members of the α -amylase inhibitors family from wheat endosperm are major allergens associated with baker's asthma. *FEBS Lett.* 261:85-88.
- 8) Hejgaard, J., S. Jacobsen and I. Svendsen 1991. Two antifungal thaumatin-like proteins from barley grain. *Fed. Eur. Biochem. Soc.* 291:127-131.
- 9) Komitopoulou, E., I.S. Boziaris, E. Alison Davies, J. Delves-Broughton and M.R. Adams 1999. *Alicyclobacillus acidoterrestris* in fruit juices and its control by nisin. *Int. J. Food Sci. Technol.* 34:81-85.
- 10) Makkar, H.P., R.K. Dawra and B. Singh 1987. Protein precipitation assay for quantitation of tannins: determination of protein in tannin-protein complex. *Anal. Biochem.* 166:435-439.
- 11) Massiah, A.J. and M.R. Hartley 1995. Wheat ribosome-inactivating proteins: seed and leaf forms with different specificities and cofactor requirements. *Planta* 197: 633-640.
- 12) Leah, R., H. Tommerup, I. Svendsen and J. Mundy 1991. Biochemical and molecular characterization of three barley seed proteins with antifungal properties. *J. Biol. Chem.* 266:1564-1573.
- 13) Oita, S. 2000. Extraction and enzymatic degradation of antimicrobial peptides, α and β -thionins, from barley and wheat. *J. Jpn. Soc. Food Sci. Technol.* 47:424-430.
- 14) Oita, S., M. Ohnishi-Kameyama and T. Nagata 2000. Binding of barley and wheat α -thionins to polysaccharides. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 64:958-964.
- 15) Okada, T. and H. Yoshizumi 1970. A lethal toxic substance for brewing yeast in wheat and barley Part II. Isolation and some properties of toxic principle. *Agric. Biol. Chem.* 34:1089-1094.
- 16) Orr, R.V. and L.R. Beuchat 2000. Efficacy of disinfectants in killing spores of *Alicyclobacillus acidoterrestris* and performance of media for supporting colony development by survivors. *J. Food Protect.* 63:1117-1122.
- 17) Orr, R.V., R.L. Shewefelt, C.J. Huang, S. Tefera and L.R. Beuchat 2000. Detection of guaiacol produced by *Alicyclobacillus acidoterrestris* in apple juice by sensory and chromatographic analysis, and comparison with spore and vegetative cell populations. *J. Food Protect.* 63:1517-1522.
- 18) Pettipher, G.L., M.E. Osmundson and J.M. Murphy 1997. Methods for the detection and enumeration of *Alicyclobacillus acidoterrestris* and investigation of growth and production of taint in fruit juice and fruit juice-containing drinks. *Lett. Appl. Microbiol.* 24:185-189.
- 19) Roberts, W.K. and C.P. Selitrennikoff 1986. Isolation and partial characterization of two antifungal proteins from barley. *Biochim. Biophys. Acta* 880: 161-170.
- 20) Sanchez-Monge, R., L. Gomez, D. Barber, C. Lopez-Otin, A. Armentia and G. Salcedo 1992. Wheat and barley allergens associated with baker's asthma. *Biochem. J.* 281:401-405.
- 21) Splittstoesser, D.F., J.J. Churey and C.Y. Lee 1994. Growth characteristics of aciduric sporeforming bacilli isolated from fruit juices. *J. Food Protect.* 57:1080-1083.
- 22) Tanabe, M., T. Kanda, A. Yanagida and S. Shimoda 1996. Japanese Patent Application Kokai No. 259453.
- 23) Terras, F.R.G., H.M.E. Schoofs, K. Thevissen, R.W. Osborn, J. Vanderleyden, B.P.A. Cammue and

W.F. Broekaert 1993. Synergistic enhancement of the antifungal activity of wheat and barley thionins by radish and oilseed rape 2S albumins and by barley trypsin inhibitors. *Plant Physiol.* 103:1311-1319.

24) Vivanco, J.M., B.J. Savary and H.E. Flores 1999. Characterization of two novel type I ribosome-inactivating proteins from the storage roots of the Andean crop *Milabilis expansa*. *Plant Physiol.* 119:1447-1456.

25) Yamazaki, K., C. Isoda, H. Tedzuka, Y. Kawai and H. Shinano 1997. Thermal resistance and prevention of spoilage bacterium, *Alicyclobacillus acidoterrestris*, in acidic beverages. *J. Jpn. Soc. Food Sci. Technol.* 44:905-911.

26) Yamazaki, K., M. Murakami, Y. Kawai, N. Inoue and T. Matsuda 2000. Use of nisin for inhibition of *Alicyclobacillus acidoterrestris* in acidic drinks. *Food Microbiol.* 17:315-320.

Summary

Heat-stable antimicrobial peptides, α - and β -hordothionins from barley and α -purothionin from wheat, inhibited the growth of thermoacidophilic spore-forming *Alicyclobacillus acidoterrestris* at a concentration of 5-10 μ g/ml. Viable cells of *A. acidoterrestris* decreased in satsuma mandarin juice and mixed fruit-vegetable juice containing 20 μ g/ml of α -purothionin, but the inhibition was relatively weak in 30% dilution of apple juice. α - and β -Hordothionins were extractable from barley seeds by 0.2 M citric and malic acids. The spoilage of satsuma mandarin juice by *A. acidoterrestris* was prevented by 3% addition of the barley extracts in the juice.

大麦・小麦 α -および β -チオニンによる耐酸耐熱性細菌 *Alicyclobacillus acidoterrestris*の制御

老 田 茂

摘 要

大麦および小麦由来で熱安定性が高い抗菌ペプチドの α -および β -チオニンは、耐酸耐熱性細菌である*Alicyclobacillus acidoterrestris*の増殖を5-10 μ g/mlで阻害した。20 μ g/mlの小麦 α -チオニンを含むみかん果汁や果実・野菜ミックスジュース中でも*A. acidoterrestris*の生菌数が減少したが、30%希釈のリンゴ果汁中では阻害がやや弱かった。0.2 Mクエン酸およびリンゴ酸によって、大麦種子から α -および β -チオニンが抽出された。この大麦抽出液をみかん果汁へ3%添加したところ、*A. acidoterrestris*による果汁の腐敗が防止できた。

有機物連用圃場におけるダイコンの品質

浦嶋泰文*・須賀有子・福永亜矢子・池田順一・堀 兼明

Key words : Radish (*Raphanus sativus* L.), compost, Nitrate nitrogen, sugar, Isothiocyanate, Ascorbic acid

目 次

I 緒 言	61	2 葉色と葉部窒素含量の関係	68
II 材料及び方法	62	3 有機物施用と硝酸態窒素含量の関係	68
1 供試圃場とその前歴	62	4 有機物施用と辛み成分の関係	70
2 ダイコンの栽培	63	5 有機物施用と糖含量の関係	71
3 施肥条件及び有機物施用条件	63	6 有機物施用とアスコルビン酸含量の 関係	72
4 収穫物の品質調査	63	7 今後の課題	72
III 結 果	64	V 摘 用	73
1 ダイコンの生育	64	謝 辞	73
2 ダイコンの葉色	66	引用文献	73
3 ダイコンの各成分含量	66	Summary	75
IV 考 察	67		
1 ダイコンの生育	67		

I 緒 言

近年、国民の生活水準の向上により農産物に対する品質ニーズが多様化してきている。消費者は農産物に対して栄養源及び美味しさに加えて、機能性・健全性といったところにも関心を寄せており、高品質・機能性・安全性等を志向する傾向が強い。こうしたなか、野菜についても高品質化・安全性といった観点から、「有機農産物」や「有機野菜」に対する需要（要望）が増加している。ま

た、生産者の側でも有機認証制度¹⁾の発足に伴い有機栽培に対する関心が高まっている。

有機栽培された野菜の品質は高いとの声も聞かれるが、有機農産物の品質の実態については必ずしも明らかではなく、有機物施用による野菜の品質向上については、論議されながら一定の結論は得られていない²⁾。

我々の中国農試畑地利用部（現 近畿中国四国農業研究センター野菜部）には、農薬は使用しているものの、化学肥料のみを連用した区、イナワラ

(平成13年11月26日受理)

野菜部

* 野菜茶業研究所 葉根菜研究部

牛糞堆肥やオガクズ豚糞堆肥のみを連用した区とそれらの施用量の違い、更にマルチと無マルチを組み合わせた試験区がある。この圃場でダイコンを17作まで(年2作)作付けしてきた。この圃場は上記の「有機物施用で野菜の品質は良くなるか?」という論点を解析するための一事例として有効な圃場と考えた。

これまでに、著者らはこの圃場を用いて、ダイコン栽培試験を実施し、有機物施用とマルチ栽培を組み合わせることによって、化学肥料と同等以上の秀品収量が得られることを示した²⁴⁾。また有機物施用区においても無マルチ条件では肥料成分および随伴成分が下層土まで浸透溶脱していることも明らかにした²³⁾。また、ダイコンの品質成分としては、本報で我々が分析した辛味成分であるイソチオシアネート等がこれまでに取り上げられており^{3,4,5,8)}、土壌の違いや肥料成分等の環境要因との関係が検討されているが、報告数は多くない。

そこで本研究ではこの圃場においてダイコンを栽培し、有機物の種類、施用量およびマルチとの組合せがダイコン根部の硝酸、イソチオシアネート、糖、

アスコルビン酸含量に与える影響を検討した。

II 材料及び方法

1 供試圃場とその前歴

著者らの既報^{22,23,24)}と同じく、中国農試畑地利用部青野圃場(細粒褐色低地土壌)の連用試験区画を供試した。この圃場は1992年秋作より連用試験を継続してきている。圃場は1区を1.2m×6.7m=8m²とした32区に分割されており、それぞれ施肥前歴が異なる。各区の施肥内容を第1表に示す。施用した牛糞堆肥はイナワラ牛糞堆肥(以下牛糞堆肥:試験場にて1年間堆積し作製)、豚糞堆肥はオガクズ豚糞堆肥(以下豚糞堆肥:完熟に近いものを京都府夜久野町養豚団地より購入)である(第2表)。化成肥料区ではCDU化成(15-15-15)を用いた。標準施用量は京都府の施肥基準に基づき窒素で18kg/10aとした。牛糞堆肥区および豚糞堆肥区では、第2表に示した値を用いて標準区の標準区の施肥窒素量が18kg/10aとなるように施肥量を決定した。標準区の現物施用量は牛糞堆肥では3.75t/10a、豚糞堆肥では2.66t/10a

第1表 有機物連用試験および残効試験の試験区

連用区	第1~17作 (1992-2000年)	残効区	第1~8作 (1992-1996年)	第9~17作(1996-2000年) (残効第1~9作)	
無マルチ	牛糞堆肥 3倍標準半量	無マルチ	牛糞堆肥 3倍標準半量	各試験区ごと 毎作、資材を施用し ダイコンを年2作栽培	
	豚糞堆肥 3倍標準半量		豚糞堆肥 3倍標準半量		
	化成肥料 標準半量		化成肥料 標準半量		
マルチ	牛糞堆肥 3倍標準半量	マルチ	牛糞堆肥 3倍標準半量		無肥料にて ダイコンを年2作栽培
	豚糞堆肥 3倍標準半量		豚糞堆肥 3倍標準半量		
	化成肥料 標準半量		化成肥料 標準半量		

注) マルチ区のマルチ資材はシルバーポリマルチとした。

第2表 供試有機物の成分組成

	窒素全量	リン酸全量	カリウム全量	石灰全量	苦土全量	炭素全量	C/N比
牛糞堆肥	1.37	4.30	4.30	1.25	2.35	38.40	28.03
豚糞堆肥	1.90	4.50	0.85	5.35	0.90	43.20	22.74

C/N比以外は乾物あたりの含有率(%)

であった。また牛糞および豚糞堆肥の施用に当たり、 P_2O_5 、 K_2O の化成肥料区に対する過不足は調節しなかった。

試験区には連用区と残効区があり、連用区では1992年秋作から2000年まで年2回のダイコン作付けを継続し、毎作、第1表に示した量の有機物あるいは化成肥料を施用した。これに対し、残効区では1992年秋作から1996年春作まで年2回のニンジン作付けを継続し、この間は毎作、有機物あるいは化成肥料を施用したが、1996年秋作から2000年までは無肥料で年2回のダイコン作付けを継続した。

本報告は、連用区の第16作（春作）、第17作（秋作）および残効区無施肥第8作目（春作）、第9作目（秋作）についての調査結果である。

2 ダイコンの栽培

2000年に春作および秋作としてダイコンを栽培した。供試品種は春作「おはる」、秋作「耐病総太り」とした。前歴期間中と同様の試験区構成とし、無マルチ区とマルチ区を設けた。栽植密度は60cm×25cm、52株/区とし、栽培管理は慣行に従った。春作は4月13日には種し、6月13日に一斉収穫調査した。秋作は9月18日には種し、11月29日に一斉収穫調査した。

3 施肥条件及び有機物施用条件

各試験区画に対し前歴期間と同様の施肥あるいは有機物施用を行った。すなわち、上記の「連用区」については牛糞堆肥、豚糞堆肥および化成肥料を用いて、施肥窒素量を54kg/10aとする3倍量区、18kg/10aとする標準量区、9kg/10aとする半量区を設け、残効区についてはこれらの施肥を行わなかった。

施用法としては、各家畜糞堆肥は毎作播種15日前に全面に施用し、耕耘機（耕耘深度13cm）にて混合した。有機物連用区は無マルチ区、マルチ区とも全量基肥で施用した。化成肥料連用区は無マルチ栽培では、半量を基肥で半量を追肥にて施用した。化成肥料連用区のマルチ区においては全量基肥で施用した。

4 収穫物の品質調査

1) ダイコン根部の硝酸態窒素含量

根部の中央部位の生サンプルを、おろし金でおろした後、ガーゼで搾った汁を蒸留水にて希釈した。その希釈液を0.2 μ mのメンブレンフィルターで濾過し、試料中の硝酸イオン含量をイオンクロマトグラフィにて測定した。

2) イソチオシアネート含量

イソチオシアネートの分析は江崎ら³⁾の方法に準じ、石井ら⁸⁾の方法を参考にして行った。すなわち、根部の中央部位の生サンプルをおろし金でおろした後ガーゼで搾った。その搾汁液を密栓し、30℃で30分間静置し、イソチオシアネートを生成させた。そのイソチオシアネート溶液5mlに20mlのエタノール—アンモニア溶液（39:1 v/v）を添加し30℃で60分間静置し、チオウレアを生成させた。チオウレア溶液25mlに1mlの50%酢酸を添加し、ろ紙（No.5C）でろ過した。ろ液（中和されたチオウレア溶液）1mlに4mlの改良グロート試薬（25倍希釈液）を加え、37℃で45分間静置した。静置後、溶液の吸光度（600nm）を測定した。イソチオシアネート含量は、あらかじめ作成したアリルチオウレアの検量線（0.05 mgおよび0.1mg/ml 75%エタノール）から次式によりアリルイソチオシアネートを計算した。

イソチオシアネート含量（mg/100g搾汁液）＝アリルチオウレア含量（mg/ml）×26/5×99/116×100

3) 糖含量

a 糖用屈折計示度

根部の生サンプルを、おろし金でおろした後ガーゼで搾った汁を、糖度計にて測定した。

b Fキット

根部の生サンプル5gに80%エタノール8mlを加え、ポリトロンで1分間磨砕し、70℃で50分間静置した。加熱後3000rpmで遠心し、上澄みを25mlのメスフラスコに移した。遠心管に6mlの80%エタノールを加え同様に抽出した。この抽出操作を2回繰り返した。これらの抽出液を合わせ80%エタノールにて25mlに定容した¹⁸⁾。抽出液5mlを試験管に分注し、真空エバポレーターを用いてエタノールを除去した。試験管に5mlの蒸留水を加えミキサーにてよく混合し、Fキット（ショ糖／グルコース／フルクトース用、ベーリンガー・マンハイム株式会社）にて、グルコース、フルクトースおよびシュクロース含量を測定した。

4) 還元型アスコルビン酸含量

根部の生サンプルを細かくきざみ、20gのサンプルに10%メタリン酸50mlを加え、ポリトロンで1分間磨砕し、水で100mlに定容してろ過し、最終的に5%メタリン酸の抽出液とした。抽出液にリフレクトクェント試験紙を浸し、反応終了時に試験紙を小型反射式光度計システム(RQフレックスシステム)にて測定した¹⁹⁾。

5) 葉色

収穫直前に各試験区から無作為に10株を選び、各株の最大葉について葉緑素計示度(ミノルタSPAD-502)を計測し、平均値を算出した。

6) ダイコンの全窒素含量

根部を70℃にて乾燥後、粉碎し、ケルダール法にて全窒素含量を測定した。

7) 土壌中の水溶性硝酸イオン、硫酸イオン含量

栽培終了後に作土(0~10cm)を採取し、風乾後、2mmの篩にて篩別した。風乾細土を5gとり10mlの蒸留水を加え、1時間振とう後、濾過した。含まれている試料中の硝酸イオン、硫酸イオン含量をイオンクロマトグラフィにて測定した。

なお、生育については各試験区で収穫した健全株全てを調査し、品質に関しては各試験区より平均的な大きさのものを3株を供試し3反復で調査した。

Ⅲ 結 果

1 ダイコンの生育

収穫時におけるダイコンの平均根重(以下根重)を第3表に示す。連用区において根重は春作(16作)および秋作(17作)ともに有機物あるいは化成肥料の施用量が多いほど大きく、特に3倍量施用区では根重が1000gを超えていた。またマルチ区では無マルチ区より根重が大きかった。同一施用量で比較するとマルチ区と無マルチ区の差は16作では52~358g(平均206g)、17作では161~379g(平均287g)であった。一方、作付け前に施肥を行わなかった残効区では、連用区に比較して根重が小さく、300~800g程度であったが、残効区においてもマルチによる根重の向上が認められた。とくに前歴で多量の有機物が施用されている区でマルチ栽培をした場合には770~800g程度の根重が得られ、この値は、作付け前に施肥を行った化成肥料連用区でマルチをし

第3表 有機物連用圃場における施肥内容の違いがダイコンの根重に及ぼす影響

圃場 ¹⁾	施肥内容 ²⁾	第16作(8作) ³⁾		第17作(9作) ³⁾	
		無マルチ区	マルチ区	無マルチ区	マルチ区
連用	牛糞3倍	1124	1272	1195	1402
	牛糞標準	893	1251	930	1309
	牛糞半量	573	798	810	1182
	豚糞3倍	1310	1362	1041	1355
	豚糞標準	995	1120	987	1225
	豚糞半量	624	826	857	1150
	化成標準	692	1006	871	1206
	化成半量	591	821	826	987
残効	牛糞3倍	518	804	833	1179
	牛糞標準	403	596	718	1015
	牛糞半量	367	550	629	953
	豚糞3倍	523	767	745	1166
	豚糞標準	406	740	686	1065
	豚糞半量	375	749	706	1018
	化成標準	300	447	631	912
	化成半量	320	448	659	998

- 注) 1 連用:1992年より年2作連用 残効:1992年より4年(8作)連用後、無施肥で栽培
 2 標準量:京都府の施肥基準に基づき窒素で18kg/10a施用
 牛糞:イナワラ牛糞堆肥 豚糞:オガクズ豚糞堆肥 化成:CDU化成肥料(15-15-15)
 3 連用16作(残効8作):2001年4月13日は種、6月13日一斉収穫調査
 連用17作(残効9作):2001年9月18日は種、11月29日一斉収穫調査

第4表 収穫期におけるダイコンの葉色値 (SPAD値)

圃場	施肥内容	第16作(8作)		第17作(9作)	
		無マルチ区	マルチ区	無マルチ区	マルチ区
連用	牛糞3倍	42.4	43.7	40.7	37.6
	牛糞標準	38.7	45.7	38.3	39.8
	牛糞半量	37.2	40.7	37.6	39.4
	豚糞3倍	41.2	45.4	36.7	40.6
	豚糞標準	39.4	43.3	38.5	41.6
	豚糞半量	37.5	39.9	37.5	40.6
	化成標準	44.5	48.0	37.3	43.1
	化成半量	39.6	43.1	38.1	41.2
残効	牛糞3倍	40.5	43.1	38.1	38.7
	牛糞標準	38.8	40.4	37.9	39.7
	牛糞半量	36.6	38.5	34.6	40.4
	豚糞3倍	39.8	43.4	38.8	40.1
	豚糞標準	36.1	40.0	36.6	41.0
	豚糞半量	38.4	40.6	36.8	40.3
	化成標準	38.4	42.4	37.5	40.5
	化成半量	35.2	43.2	37.8	39.2

第5表 ダイコン根部の硝酸態窒素含量 (mg/100g FW)

圃場	施肥内容	第16作(8作)		第17作(9作)	
		無マルチ区	マルチ区	無マルチ区	マルチ区
連用	牛糞3倍	24.2	38.6	46.9	63.0
	牛糞標準	12.2	14.6	20.1	45.5
	牛糞半量	7.9	8.9	22.1	35.1
	豚糞3倍	17.5	34.0	48.3	56.1
	豚糞標準	7.9	13.7	30.3	58.3
	豚糞半量	1.7	8.0	27.1	40.8
	化成標準	26.1	21.3	28.6	41.6
	化成半量	14.8	11.4	15.4	47.1
残効	牛糞3倍	12.3	12.3	25.4	34.3
	牛糞標準	6.2	4.6	26.2	33.2
	牛糞半量	7.4	7.4	12.1	36.2
	豚糞3倍	8.7	8.6	30.9	46.0
	豚糞標準	9.0	7.4	22.6	48.1
	豚糞半量	6.3	13.6	16.1	35.2
	化成標準	8.0	8.3	22.7	28.1
	化成半量	5.4	5.9	11.1	33.3

ない場合(692g)より大きかった。

2 ダイコンの葉色

第4表にダイコンの葉色のSPAD値（ミノルタの葉緑素計を用いて測定した値；0～80の数値で示され、数値が高いほど葉色が濃い）を示す。SPAD値は16, 17作とも、連用区および残効区の両方で施用量が多いほど増加した。マルチの影響としては同一施用量ではマルチ区のSPAD値が平均で3.7（16作）、2.4（17作）高い傾向にあった。

3 ダイコンの各成分含量

根部の硝酸態窒素含量を第5表に示す。硝酸態窒素含量は春作（連用区16作および残効区8作）においては、1.7～38.6mg/100g FW程度であったが、秋作（連用区17作および残効区9作）においては、11.1～63.0mg/100g FWと春作より高い傾向にあった。また春作、秋作ともに無マルチ区（春作：5.4～26.1mg/100g FW, 秋作：11.1～48.3mg/100g FW）よりもマルチ区（春作：4.6～38.6mg/100g FW, 秋作：28.1～63.0mg/100g FW）において、残効区

（春作：4.6～13.6mg/100g FW, 秋作：11.1～48.1mg/100g FW）よりも連用区（春作：1.7～38.6mg/100g FW, 秋作：15.4～63.0mg/100g FW）において硝酸態窒素含量が高い傾向にあった。さらに有機物あるいは化成肥料の施用量が多くなるほど根部の硝酸態窒素含量が高くなる傾向にあった。

ダイコンの辛み成分であるイソチオシアネート含量を第6表に示す。イソチオシアネートは春作においては29.1～62.1mg/100g 搾汁液であったのに対し、秋作においては11.1～16.2mg/100g 搾汁液であり全般的に春作で含量が高い傾向にあった。また連用区（春作29.1～51.2mg/100g 搾汁液, 秋作11.1～18.2mg/100g 搾汁液）よりも残効区（春作33.2～62.1mg/100g 搾汁液, 秋作16.0～19.3mg/100g 搾汁液）で含量が高い傾向にあり、春作の連用区においては有機物連用区（29.1～46.4mg/100g 搾汁液）よりも化成肥料連用区（41.6～51.5mg/100g 搾汁液）で含量が高い傾向にあった。

根部搾汁液の糖度（Brix）を第7表に示す。糖度は連用区では4.50～5.10%、残効区は4.60～5.77%の範囲にあり、残効区で糖度が高い傾向にあった。ま

第6表 ダイコン根部のイソチオシアネート含量 (mg/100g 搾汁液)

圃場	施肥内容	第16作(8作)		第17作(9作)	
		無マルチ区	マルチ区	無マルチ区	マルチ区
連用	牛糞3倍	34.6	36.5	11.1	12.2
	牛糞標準	31.7	36.5	16.4	14.4
	牛糞半量	35.0	33.9	13.2	13.9
	豚糞3倍	32.1	29.1	12.4	14.4
	豚糞標準	29.1	34.3	12.9	17.9
	豚糞半量	46.4	39.8	16.7	18.2
	化成標準	51.5	42.3	14.7	14.4
	化成半量	41.6	43.4	16.1	16.9
残効	牛糞3倍	36.1	35.4	16.0	17.2
	牛糞標準	39.8	36.1	16.9	17.5
	牛糞半量	42.7	36.1	19.3	17.5
	豚糞3倍	42.3	43.4	16.5	18.5
	豚糞標準	49.3	39.4	16.5	18.3
	豚糞半量	50.0	26.9	17.5	16.8
	化成標準	62.1	49.6	17.9	18.1
	化成半量	48.2	33.2	19.2	18.4

第7表 ダイコン根部の糖含量 (Brix %)

圃場	施肥内容	第17作(9作)	
		無マルチ区	マルチ区
連用	牛糞3倍	4.83	4.60
	牛糞標準	4.77	4.50
	牛糞半量	5.00	4.90
	豚糞3倍	4.73	4.67
	豚糞標準	4.67	4.90
	豚糞半量	5.10	4.63
	化成標準	5.07	5.03
	化成半量	5.03	4.53
	残効	牛糞3倍	5.33
牛糞標準		5.40	5.03
牛糞半量		5.77	4.93
豚糞3倍		5.27	4.67
豚糞標準		4.97	4.93
豚糞半量		5.20	4.60
化成標準		5.23	5.03
化成半量		5.20	5.10

たマルチ区においては4.50~5.10%であり、無マルチ区においては4.67~5.77%と無マルチ区のほうが糖度が高い傾向にあった。

根部の糖組成(シュクロース、グルコース、フルクトースの割合)を第8表に示す。糖組成割合は処理区間で大きな違いは見うけられなかったが、3種類の糖の合計含量は連用区(3.09~4.55g/100g FW)よりも残効区(4.22~5.74g/100g FW)で高く、マ

ルチ区(3.09~5.74g/100g FW)よりも無マルチ区(3.98~5.37g/100g FW)で全般的に高い傾向にあり、糖度(Brix)と同じ傾向にあった。

根部のアスコルビン酸含量を第9表に示す。春作のアスコルビン酸含量は各試験区間で顕著な違いは認められなかったが、残効区(26.0~33.0mg/100g FW)が連用区(24.5~30.5mg/100g FW)よりも高い傾向が認められた。

ダイコンの根部、葉部の全窒素含量を第10表に示す。春作、秋作ともに葉部の窒素含量が根部のそれよりも高い傾向にあった。またマルチ区の含量が高く、連用区の含量が高かった。また施肥量が増加するにつれ、窒素含量も高まった。

IV 考 察

1 ダイコンの生育

ダイコン栽培において、マルチ栽培を行うことにより、化学肥料と窒素施用量を同一とした牛糞・豚糞堆肥連用でも化学肥料と同等以上の秀品収量を維持できることを前報²⁴⁾で報告したが、本試験の第16、17作においても、マルチ区の根重は無マルチ区を上回る傾向を示し、基肥重点型の栽培でのマルチの有利性が確認された。

第8表 ダイコン根部の糖組成 (g/100g FW)

圃場	施肥内容	第17作(9作)					
		無マルチ区			マルチ区		
		シュクロース	グルコース	フルクトース	シュクロース	グルコース	フルクトース
連用	牛糞3倍	1.94	1.02	1.03	1.52	0.76	0.81
	牛糞標準	2.07	1.08	1.10	1.71	0.90	0.91
	牛糞半量	1.97	1.05	1.04	1.92	1.05	1.02
	豚糞3倍	1.91	1.09	1.01	1.64	0.89	0.87
	豚糞標準	1.95	1.00	1.03	2.05	1.07	1.09
	豚糞半量	2.16	1.25	1.14	2.10	1.17	1.11
	化成標準	1.94	1.17	1.03	2.00	1.07	1.06
	化成半量	1.93	1.08	1.02	2.15	1.15	1.14
	残効	牛糞3倍	2.48	1.42	1.32	2.13	1.17
牛糞標準		2.50	1.42	1.32	2.74	1.54	1.45
牛糞半量		2.39	1.37	1.26	2.29	1.25	1.21
豚糞3倍		2.58	1.42	1.37	2.02	1.13	1.07
豚糞標準		2.54	1.48	1.34	2.34	1.21	1.24
豚糞半量		2.29	1.46	1.21	2.15	1.28	1.14
化成標準		2.32	1.37	1.23	2.13	1.34	1.13
化成半量		2.36	1.37	1.25	2.42	1.41	1.28

2 葉色と葉部窒素含量の関係

ダイコンの葉色SPAD値はダイコン葉部の窒素含量(乾物%)と相関(春作:r=0.57878, 秋作:r=0.55693)が認められた(第1図)。

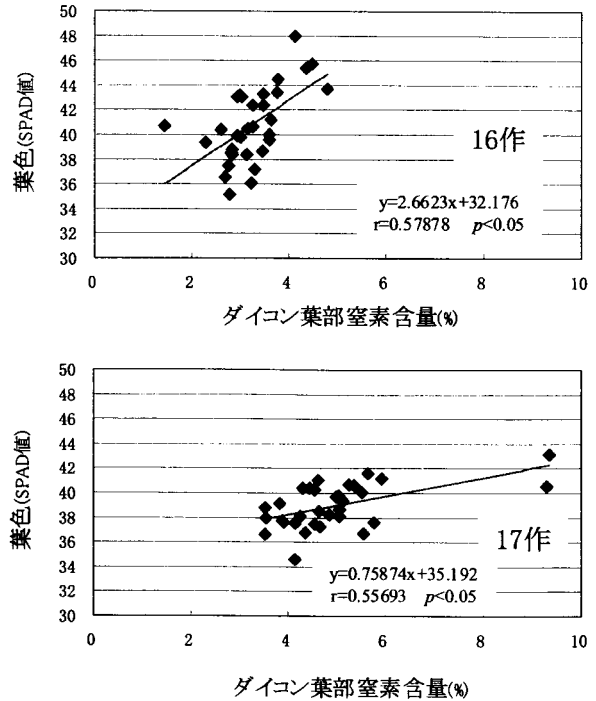
藤原⁹⁾によれば、葉色は種々の要因により変化するが、現段階では窒素栄養の診断にとどめるべきとし、コマツナの診断事例を示している。

3 有機物施用と根部の硝酸態窒素含量の関係

窒素は多くの野菜では大部分が硝酸で吸収され、硝酸がアミノ酸に還元同化されてはじめて利用される。硝酸還元活性よりも多量の硝酸が作物体内に吸収されれば未還元硝酸として液胞に集積する。野菜の硝酸は、人間が摂取した場合、アミノ酸やタンパク質のように人体の窒素源とならないばかりか、

第9表 ダイコン根部のアスコルビン酸含量 (g/100g FW)

圃場	施肥内容	第16作(8作)	
		無マルチ区	マルチ区
連用	牛糞3倍	28.0	26.0
	牛糞標準	24.5	27.5
	牛糞半量	29.0	25.0
	豚糞3倍	26.0	26.0
	豚糞標準	27.0	24.5
	豚糞半量	27.0	28.5
	化成標準	26.0	30.5
	化成半量	27.5	25.0
残効	牛糞3倍	30.0	29.0
	牛糞標準	29.0	26.0
	牛糞半量	30.5	26.5
	豚糞3倍	29.0	27.5
	豚糞標準	28.5	26.5
	豚糞半量	31.0	26.5
	化成標準	33.0	31.5
	化成半量	30.0	31.0

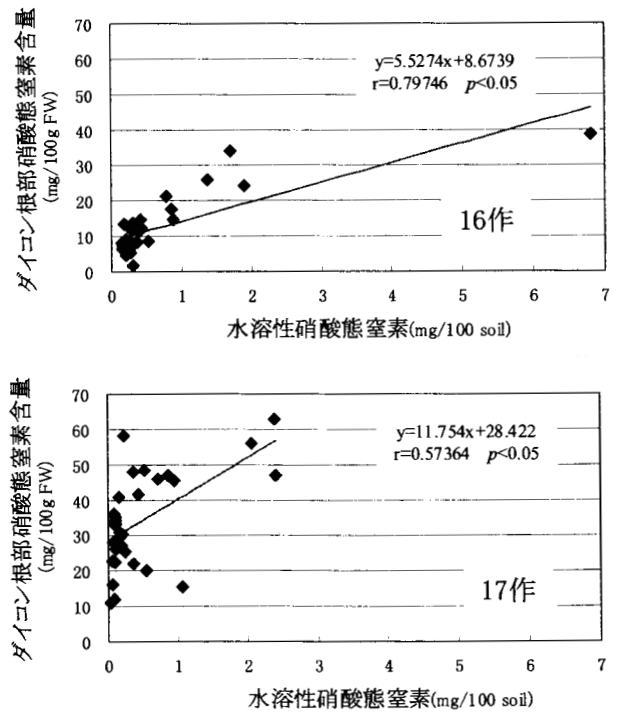


第1図 ダイコンの葉色とダイコン葉部の窒素含量(乾物%の関係)

第10表 ダイコンの全窒素含量 (乾物%)

圃場	施肥内容	第17作(9作)					
		無マルチ区			マルチ区		
		シュクロース	グルコース	フルクトース	シュクロース	グルコース	フルクトース
連用	牛糞3倍	1.94	1.02	1.03	1.52	0.76	0.81
	牛糞標準	2.07	1.08	1.10	1.71	0.90	0.91
	牛糞半量	1.97	1.05	1.04	1.92	1.05	1.02
	豚糞3倍	1.91	1.09	1.01	1.64	0.89	0.87
	豚糞標準	1.95	1.00	1.03	2.05	1.07	1.09
	豚糞半量	2.16	1.25	1.14	2.10	1.17	1.11
	化成標準	1.94	1.17	1.03	2.00	1.07	1.06
	化成半量	1.93	1.08	1.02	2.15	1.15	1.14
残効	牛糞3倍	2.48	1.42	1.32	2.13	1.17	1.13
	牛糞標準	2.50	1.42	1.32	2.74	1.54	1.45
	牛糞半量	2.39	1.37	1.26	2.29	1.25	1.21
	豚糞3倍	2.58	1.42	1.37	2.02	1.13	1.07
	豚糞標準	2.54	1.48	1.34	2.34	1.21	1.24
	豚糞半量	2.29	1.46	1.21	2.15	1.28	1.14
	化成標準	2.32	1.37	1.23	2.13	1.34	1.13
	化成半量	2.36	1.37	1.25	2.42	1.41	1.28

硝酸の一部から毒性の高い亜硝酸やニトロソ化合物が生成することが指摘されている¹⁷⁾。野菜の硝酸濃度については、土壌の窒素含量と密接な関係が認められている²⁰⁾。本研究において春作においては土壌の水溶性硝酸態窒素含量とダイコン根部の硝酸態窒素含量との間に比較的高い相関 ($r=0.79746$) が認められたが、秋作においては春作に比べて相関係数が低かった ($r=0.57364$ 第2図, 第11表)。その理由のひとつは秋作では土壌の水溶性硝酸態窒素含量が低くても、ダイコン根部の硝酸態窒素含量が大きくなる区が比較的多く混在したことにあるが、本試験の秋作でなぜこのような傾向が生じたのかは明確でない。野菜類の栽培期間中の土壌における硝酸含量の適正値は渡辺²⁰⁾によれば10mg/乾土100gとされている。第11表は収穫時の結果なので、栽培期間中よりも低い値であると考えられるが、それを考慮に入れてもこの試験区全体が硝酸に関しては低いレベルでの試験であったといえる。本試験では、有機物施用により、化学肥料施用よりも作物の硝酸含量が減少するといったような傾向は認められず、本試験



第2図 ダイコンの根部の硝酸態窒素と土壌の水溶性硝酸態窒素の関係

第11表 栽培跡地土壌の水溶性硝酸含量 (mg/100g soil)

圃場	施肥内容	第16作(8作)		第17作(9作)	
		無マルチ区	マルチ区	無マルチ区	マルチ区
連用	牛糞3倍	1.89	6.81	0.87	2.39
	牛糞標準	0.43	0.41	0.55	0.96
	牛糞半量	0.28	0.20	0.36	0.12
	豚糞3倍	0.85	1.70	0.53	2.06
	豚糞標準	0.33	0.31	0.21	0.23
	豚糞半量	0.30	0.24	0.19	0.16
	化成標準	1.37	0.78	0.13	0.44
	化成半量	0.88	0.40	1.07	2.40
残効	牛糞3倍	0.27	0.34	0.24	0.11
	牛糞標準	0.22	0.20	0.11	0.08
	牛糞半量	0.18	0.16	0.08	0.08
	豚糞3倍	0.53	0.27	0.17	0.72
	豚糞標準	0.21	0.22	0.09	0.36
	豚糞半量	0.16	0.18	0.07	0.11
	化成標準	0.15	0.37	0.06	0.07
	化成半量	0.27	0.18	0.04	0.11

の範囲においては、有機物施用は必ずしも作物の硝酸の集積を少なくする手段とはならないと推察された。

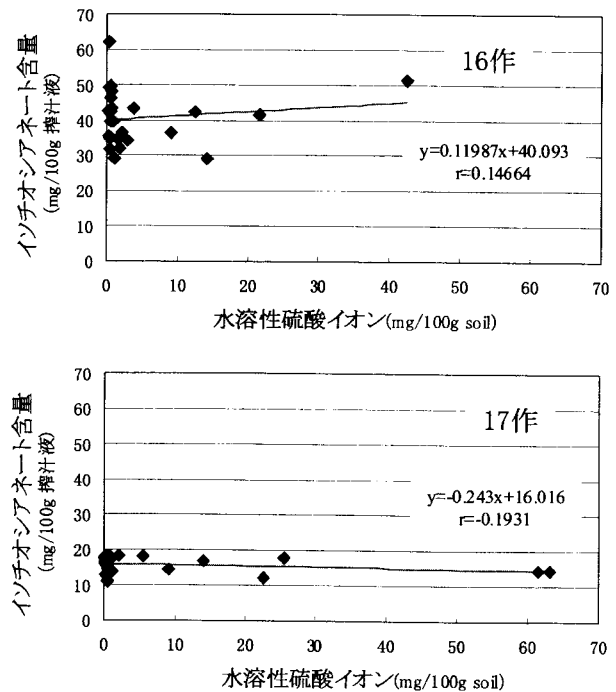
野菜の硝酸濃度とその安全性評価については明確でない点が多く、我が国においては基準値の設定はされていないが、本報における養分管理下のダイコンは、国内における濃度の計測例に比較して高濃度ではなく、外国での参考値・制限値に比べて低いレベルであった。

4 有機物施用と辛味成分の関係

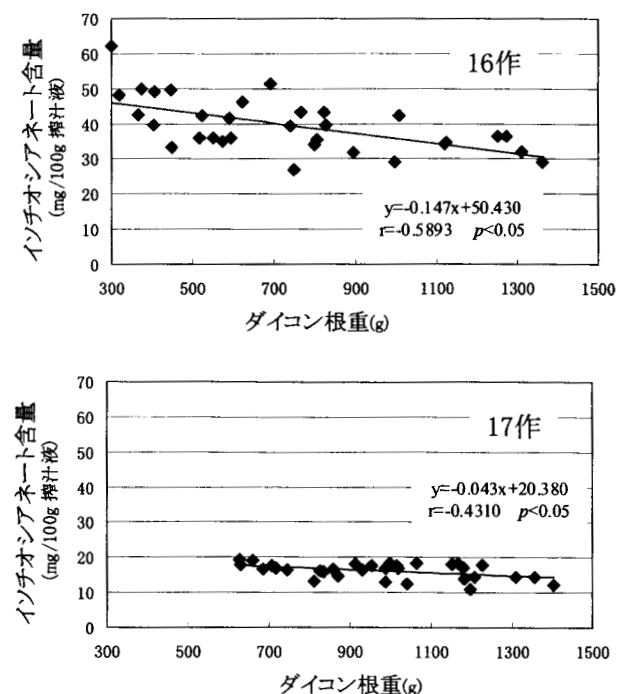
生食用ダイコンでは辛味の程度が重要な品質要素となっている。ダイコンの辛味成分はイソチオシアネート類とされており、これらは組織の破壊と同時に含硫配糖体（グルコシノレート）がミロシナーゼの作用によって分解されて生成するとされている⁹⁾。Freemanら¹⁰⁾は培養液の硫酸イオン濃度を6段階に変えてダイコンを砂耕栽培し、根部のイソチオシアネート類との関係を調べた。その結果、イオウ濃度が増加するに伴い、イソチオシアネート類の含量が高くなることを報告している。ダイコン根部に含まれるグルコシノレートは、その分子中にイオウ原子が3個あり、分子量の約20%を占める。このため、本物質の根部での蓄積には植物体のイオウ代謝が密接に関連し、培地中の硫酸イオンレベルの多少がイソチオシアネート含量に影響を与えると石井ら¹¹⁾は述べている。本試験においては土壤の水溶性硫酸イオンとイソチオシアネート含量との間には相関関係（春作： $r=0.14664$ ，秋作： $r=-0.1931$ ）が認められなかったが（第3図）、イソチオシアネート含量とダイコンの重量との間には負の相関（春作： $r=-0.5893$ ，秋作： $r=-0.4310$ ）が認められ（第4図）、根部生育量が小さいほど含量が高くなった。また、春作においては有機物連用区よりも化成肥料連用区のダイコンのイソチオシアネート含量が高い傾向が認められた。これは化成肥料連用区においては土壤中の水溶性硫酸イオン濃度が12~63mg/100g soilと高いためではないかと推察された。

またポリマルチ栽培はイソチオシアネート含量を増加させるといった研究報告⁹⁾がある。今回、ポリマルチ栽培によるイソチオシアネート含量の増減については明確な相違が認められなかったが、栽培条

件とダイコンの辛味との関係で、土壤の硫酸イオンの影響や土壤水分の影響等を今後検討する必要があると考えられる。



第3図 ダイコン根部のイソチオシアネート含量と土壤の水溶性硫酸との関係



第4図 ダイコン根部のイソチオシアネート含量とダイコンの根重との関係

イソチオシアネート含量は春作と秋作とで大きな違いがあり、春作で高かった。岡野ら¹⁶⁾はダイコンの辛み成分には品種間差があり、‘耐病総太り’などの‘宮重’系統は、含量が低いとしている。本試験においては、秋作は‘耐病総太り’春作は‘おはる’であるが、‘おはる’も‘耐病総太り’と同様な青首総太り系である。同じ系統のなかでも辛味成分含量に品種間差があることは食味の傾向から推測されるが、詳細な報告は見当たらず、今後の検討課題である。一方、春作と秋作のイソチオシアネート含量の差には、作期に伴う環境要因（地温や土壌水分）の違いも影響を及ぼすと考えられるが、そのメカニズムについても現在のところ十分な知見はない。上に述べたように、春作についてはイソチオシアネート含量は収穫時の根重が小さいほど高くなる傾向があり、生育あるいは肥大速度の遅い株はイソチオシアネート含量が高くなりやすいのではないかと考えられる。生育速度は肥効に左右されるので、有機物施用区では、生育前半期の低地温が窒素の無機化速度を遅らせ、その結果として生育が遅れ、イソチオシアネート含量が高まる可能性がある。

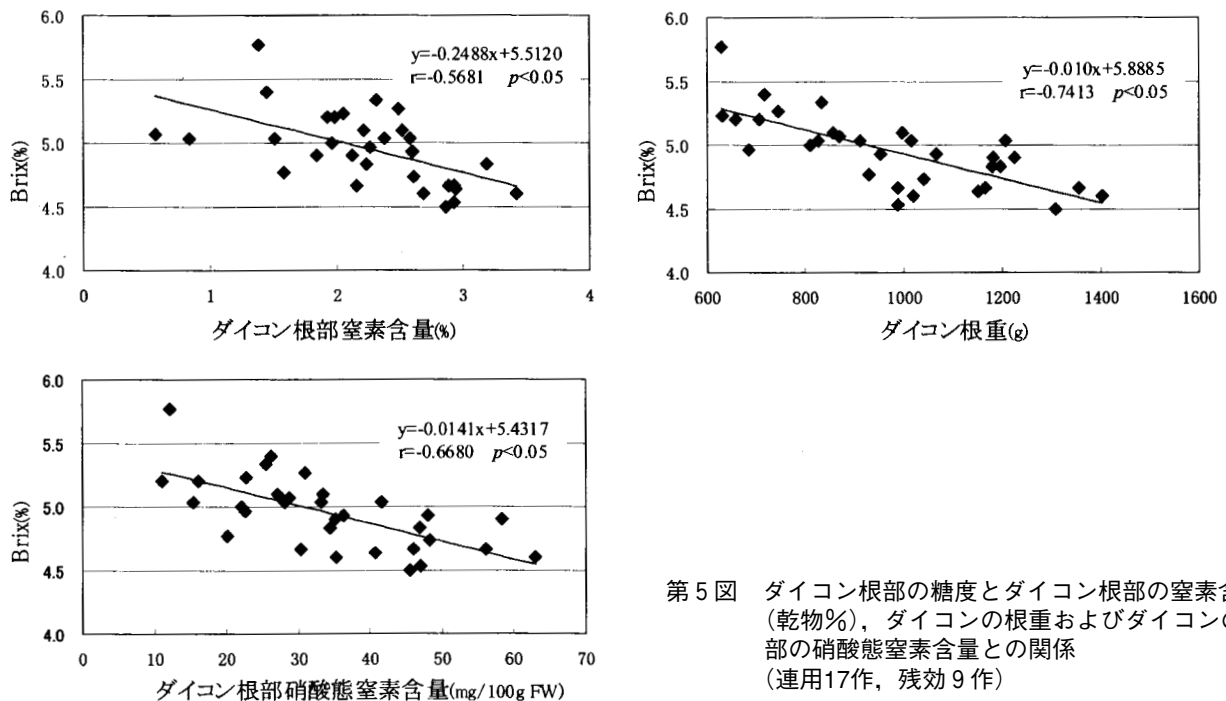
ダイコンのイソチオシアネートには抗ガン作用といった機能が見いだされてきており、機能性物質として認められている⁷⁾。現在のところ消費者の意識としては「甘い」＝「高品質」であり、青首系の

‘耐病総太り’のような辛みの少ない品種が主流を占めるようになってきている²⁾。イソチオシアネートの機能性を重視した場合、生育が遅く一定期間内にSクラス程度にしか生長できなかった株を見捨てるのではなく、逆に辛み成分含量が少ないと言われる青首総太り系品種でも、イソチオシアネート含量が高いことで商品化する可能性があるのではなかろうか。

5 有機物施用と糖含量の関係

浅野¹⁾は窒素施肥総量を3kg/aとする条件で化成肥料と肥効発現の遅い有機質肥料を組み合わせる数種の野菜を栽培し、キャベツ、レタス、ダイコン等の葉根菜類では収穫部位の全窒素量（乾物%）と全糖（生重%）の間に負の相関があることを認めている。この結果から、施肥窒素に占める有機質肥料の割合が大きいと、初期の肥効が低下し、体内窒素濃度が抑制され、収穫物の糖度が向上しやすいことが示唆される。今回の連用試験においてはダイコン根部の糖度は浅野の結果と同様にダイコンの全窒素と負の相関（ $r=-0.5681$ ）が認められた。さらに根重およびダイコン根部の硝酸態窒素含量と負の相関（各々 $r=-0.7413$, $r=-0.6680$ ）が認められ（第5図）、根部の生育が小さいほど含量が高かった。

有機物施用によるダイコンの糖含量の増加といっ



第5図 ダイコン根部の糖度とダイコン根部の窒素含量（乾物%）、ダイコンの根重およびダイコンの根部の硝酸態窒素含量との関係（連用17作，残効9作）

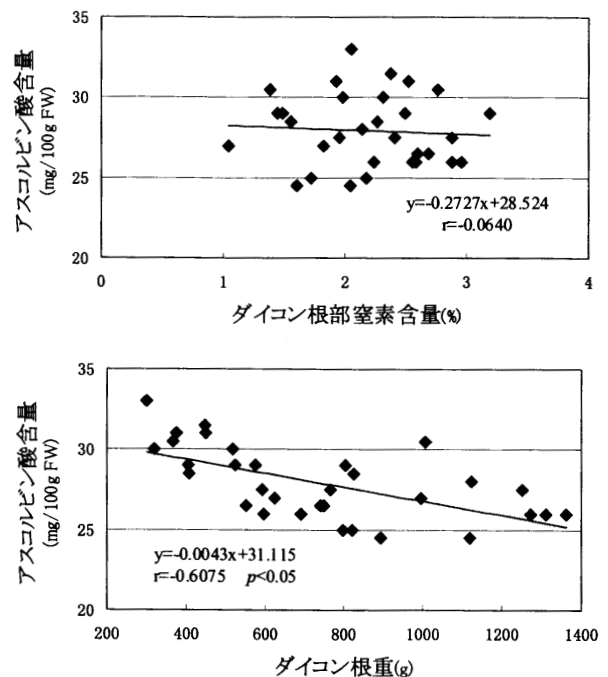
た正の効果は、今回の試験においては認められなかった。これまでも有機栽培により野菜の糖含量が高まった等の報告²⁶⁾が散見されるが、糖含量の高まった原因は、窒素の緩効的な発現によるものと推察される。有機栽培された野菜では普遍的に糖含量が高いとする一部の認識があるが、本試験の結果はそれを支持しなかった。

窒素栄養と収穫物の糖含量の関係については数多く研究されているが、グルコース、フルクトース、シュクロースに分けて考察した事例は少ない。建部ら²⁰⁾はハウレンソウ、コマツナにおいて窒素栄養条件を変化させると3種類の糖の組成割合が変動することを示し、シュクロースとグルコースでは窒素施肥に対する反応が異なるため、糖の主体がシュクロースである作物とグルコースなどの還元糖である作物では、窒素施用量と糖含量率との関係が異なる可能性があるとして述べている。今回のダイコンにおいては窒素施用量と糖組成の間には明確な差異は認められなかった。また有機物施用の有無やそれに伴う根部窒素量の違いが糖組成に及ぼす影響も小さく、全糖(3糖)合計値の増減とともにそれぞれの糖含量も増減していた。

6 有機物施用とアスコルビン酸含量の関係

MOZAFAR¹²⁾は窒素肥料とアスコルビン酸に関する文献のレビューを行い、上昇、変化なし、低下の3つの傾向に分類した後に考察し、全ての場合にあてはまらないが、窒素施用量の増加にともないアスコルビン酸含有率は低下する傾向にあると結論している。建部ら²⁰⁾がハウレンソウとコマツナを供試して行った試験では、窒素吸収量が増加するにつれて、生育量と全窒素含有率がともに上昇し、生育量や全窒素含有率と総アスコルビン酸含有率との間には高い負の相関が成り立ち、作物体が小さい個体ほど、また窒素含有率が低い個体ほど葉身と葉柄の生重当たりの総アスコルビン酸含有率が高まると報告している。しかしこの場合、窒素含有率の低い株は作物体の水分含有率も低く、水分含有率が総アスコルビン酸含有率の高低を決める要因になっていると建部らは示唆している。本試験においては、アスコルビン酸含量は根部の窒素含有量との相関は明確でない($r=-0.0640$)ものの根重との間には負の相関($r=-$

0.6075)が認められ(第6図)、建部ら²⁰⁾の報告と同様の傾向を示し、根部の生育が小さいほど含量が高まっていた。すなわち本試験ではダイコンのアスコルビン酸含量が有機物施用で普遍的に増加するといった現象は認められず、根部の窒素含有率および根重との関連がより大きかった。



第6図 ダイコン根部のアスコルビン酸含量と根部の全窒素含量およびダイコンの根重との関係(連用16作、残効8作)

7 今後の課題

ダイコンは販売可能な大きさに達したのから間引き収穫される場合が多い¹³⁾が、本試験では一斉収穫を行った。そのために残効区では野菜出荷標準規格¹⁴⁾のMクラスの下限值である根重700g未満の株が多かった。こうした観点から、第4、6図を見直すと、根重が700g未満のものを除いた場合には、根重の増加に伴って、イソチオシアネート含量(第4図)、アスコルビン酸含量(第6図)等の値が低下するといった負の相関は明確でなくなるように見受けられる。このことは、ダイコンの根部生育が著しく悪い場合には、これらの品質成分含量が高まることがあるが、根部生育が順調または十分に肥大した時に成分含量が薄まることはないことを示し

ていると考えられる。また、生殖期ではなく栄養生長期に収穫する多くの野菜にあっては、収穫物の品質成分含量が収穫物の大きさに左右される場合があることは想像に難くない。本試験は一斉収穫を行ったが、間引き収穫や収穫を何回かに分けて行えば、収穫物の大きさの要因を排除できる可能性が予想される。こうした点は今後の検討課題としたい。

近年、有機農産物に対するニーズが高まり、有機農業の野菜は品質がよいという認識が消費者の間に広まっている⁹⁾。しかしながら本試験では、化成肥料を用いずに有機物を利用することが、ダイコンの内部品質向上に常に有効であるとの結論は得られなかった。

有機物施用により作物が高品質化するとのメカニズムについて、森¹⁰⁾は、有機物の低い肥効および有機物施用による土壌の物理性の改善により、作物が良い意味での水分ストレスを受けたため引き起こされたものであると結論づけている。筆者ら²⁰⁾も有機物施用による土壌の物理性改善効果を認めてきた。一方、ティパワンら²¹⁾は、地力窒素の比較的高い土壌で化学肥料のみ、化学肥料と堆きゅう肥併用および堆きゅう肥のみのような施肥条件で、ダイコン、チンゲンサイ栽培試験を行い、化学肥料と堆きゅう肥の併用および堆きゅう肥のみの施用など収量減を極力抑えた範囲での窒素供給量の低減によって、硝酸態窒素を減らし、全糖濃度を高めるなど品質改善を図ることができた事例を報告している。これらの報告および上記の考察の中で述べたように、有機物施用と作物の品質については、今後解明すべき課題が多いと考えられる¹⁰⁾。

また環境保全的な取り組みに際して、有機物施用すること自体が環境保全であるとの過った認識が存在している。本試験圃場について以前報告²⁰⁾したように有機物を施用していても過剰に施用することで、化学肥料と同様に肥料成分が溶脱する可能性がある。有機物といえど過剰施用は禁物であることを認識しておく必要がある。

V 摘 要

施用する全窒素量が等しくなるように有機物（イナワラ牛糞堆肥とオガクズ豚糞堆肥）および化成肥

料を連用した圃場（連用区）と有機物および化成肥料連用を中断した圃場（残効区）においてダイコンを栽培し、有機物施用がダイコンの品質成分に与える影響を検討した。

1 ダイコンの生育は連用区では資材投入量の多い区で優れた。また同一施用量ではマルチ区の生育が勝った。

2 ダイコンの葉色は、連用区および残効区とも資材の施用量が多いほど濃く、同一施用量ではマルチ区の葉色が濃かった。

3 ダイコン根部の硝酸態窒素、イソチオシアネート、アスコルビン酸等の含量は、有機物施用、化学肥料施用に関わらず、根重と相関があり、根重が小さいほど、これらの含量が高かった。

以上より、投入窒素量が同一の場合、ダイコンの内部品質成分含量は有機物あるいは化学肥料間で一定の傾向は認められず、有機物連用区で有意に高い含量ではなかった。

謝 辞

本研究の遂行に際して御協力および御助言をいただいた近畿中国四国農業研究センターの尾花実雄氏、西岡和哉氏、岡田敏壽氏、岩本辰弘氏、曾我徹氏および長澤鹿津子氏に厚く御礼申し上げる。

引用文献

- 1) 浅野次郎 1982. 野菜の品質に及ぼす有機物（油かす、パークたい肥）の影響. 農及園 57:1399-1404.
- 2) 浅野次郎. 1990. 品質をめぐる野菜品種の動向と育種の展望. 研究ジャーナル 13(10):30-34.
- 3) 江崎秀男・小野崎博通 1980. 大根中の辛味成分の比色定量法. 栄養と食糧 33:161-167.
- 4) 江崎秀男・小野崎博通 1982. 大根おろし辛味成分の消長について. 家政学雑誌 33:513-520.
- 5) Freeman, G.C. and N.Mossadeghi 1972. Influence of sulphate nutrition on flavour component of three cruciferous plants : Radish (*Raphanus sativus*), Cabbage (*Brassicaoleracea*

- capitata), and White Mustard(Sinapis alba). J.Sci.Food Agri. 23 : 387-402.
- 6) 藤原俊六郎. 1984. 葉色. 農業技術体系. 土壤施肥 編, 4 : 基166-170. 農文協, 東京.
- 7) 東尾久雄. 2001. 安全性・機能性等の新たな視点からの高付加価値化技術の現状と可能性. 平成13年度 野菜茶業研究所課題別研究会資料, 輸入急 増に対応した野菜の高品質・安定生産技術の現状 と今後の課題. 64-67.
- 8) 石井現相・西條了康. 1987. 栽培条件がダイコン搾汁液中のイソチオシアネート含量に及ぼす影響. 園学雑 56 : 313-320.
- 9) 目黒孝司. 1998. 有機野菜の品質と評価. 研究ジャーナル 21(7) : 30-34.
- 10) 三輪睿太郎. 2001. 世紀の謎, 「有機農業野菜は品質がよいのか」. 季刊肥料 88 : 8-10.
- 11) 森敏. 1986. 有機物研究の新しい展望 (日本土壤肥料学会編). 博友社, 東京. 85-137
- 12) Mozafer, A. 1993. Nitrogen fertilizers and the amount of vitamins in plant : a review. J. Plant Nutri. 16 : 2479-2506.
- 13) 農業技術体系. 1993. 野菜編9巻. ダイコン. 精農家のダイコン栽培技術.
- 14) 農林水産省. 1970. 野菜出荷標準規格. だいこん.
- 15) 農林水産省食品流通局. 1999. 有機農産物の日本農林規格.
- 16) 岡野邦夫・浅野次郎・石井現相. 1990. ダイコン品種の辛味成分含量. 園学雑. 59 : 551-558.
- 17) 孫尚穆・米山忠克. 1996. 野菜の硝酸：作物体の硝酸の生理, 集積, 人の摂取. 農及園 71(11) : 1179-1182.
- 18) 植物栄養実験法編集委員会編. 1990. 植物栄養実験法. 博友社, 東京. 207.
- 19) 建部雅子・米山忠克. 1995. 作物栄養診断のための小型反射式光度計システムによる硝酸および還元型アスコルビン酸の簡易測定法. 土肥誌 66 : 155-158.
- 20) 建部雅子・石原俊幸・松野宏治・藤本順子・米山忠克. 1995. 窒素施用がハウレンソウとコマツナの生育と糖, アスコルビン酸, 硝酸, シュウ酸含有率に与える影響. 土肥誌 66 : 238-246.
- 21) ティパワン シィティランサン・土肥紘・植野玲一郎・志賀義彦・中村隆一・堀田治邦・鎌田賢一. 2001. 堆きゅう肥施用がチンゲンサイとダイコンの収量および品質に及ぼす影響. 北海道立農試集報 80 : 11-20.
- 22) 浦嶋泰文・塩見文武・須賀有子・堀兼明. 家畜糞堆肥連用による土壤物理性改善に及ぼすマルチの効果と残効. 近畿中国農研. 98 : 13-17.
- 23) 浦嶋泰文・塩見文武・須賀有子・堀兼明. 2000. 家畜糞堆肥連用およびマルチ条件における土壤の化学性の垂直分布. 近畿中国農研 100 : 3-7.
- 24) 浦嶋泰文・塩見文武・堀兼明. 2001. 家畜糞堆肥連用圃場におけるマルチを利用したダイコンの栽培. 近畿中国農研 101 : 3-8.
- 25) 渡辺和彦. 1986. 窒素. 原色生理障害の診断法. 農文協. 東京. 197-202.
- 26) 山崎晴民・六本木和夫. 1998. 有機物施用が葉菜類の収量及び品質に及ぼす影響. 埼玉園試研報 21 : 7-19.

Quality of Japanese Radish(*Raphanus sativus* L.) under the Compost Successive Application

Yasufumi URASHIMA*, Yuko SUGA, Ayako FUKUNAGA,
Jun-ichi IKEDA and Kaneaki HORI

Summary

The effect of organic matter application (organic farming) on the quality of radish was examined. The organic matter used was cattle feces compost and hog feces compost. Radish was cultivated in the experimental field, which had been continuously applied organic matter or chemical fertilizer for eight years.

After the harvest, root size, leaf color of radish and the contents of nitrate, isothiocyanate, sugars and ascorbic acid as indices of interior quality were measured.

1. The growth and leaf color of radish were superior in the continuously compost applied plots with greater rate of application. The growth and leaf color value of radish of the mulching plot were greater than those of the plot without mulching, under identical application rate .
2. The organic fertilization showed no significant effect on the quality of radish than that of the chemical fertilizer application. There was the significant relation with the amount of applied fertilizer between the quality and growth of radish.

有機栽培農家圃場の土壌の実態

堀 兼明・福永亜矢子・浦嶋泰文*・須賀有子・池田順一

Key words: hill-farming areas, organic farming, vegetable, soil chemical characteristics, micronutrient, nitrogen balance, environmental conservation, cattle or hen feces

目 次

I 緒 言	77	4 美山町で使用している堆肥の肥料成分等の調査	81
II 材料及び方法	78	IV 考 察	83
1 美山町の水田の土壌分類と生産力可能性 分級要因別等級の面積	78	1 土壌と栽培管理	83
2 土壌・施肥管理及び栽培の実態調査	78	2 土壌成分含量の有機栽培における特徴	84
3 土壌の調査・分析項目と方法	78	3 土壌窒素動態の有機栽培における特徴	87
4 美山町で使用している堆肥の肥料成分等の調査	78	4 論 議	88
III 結 果	79	5 今後の課題	90
1 美山町の水田の土壌分類と生産力可能性分級要因別等級の面積	79	V 摘 要	91
2 土壌・施肥管理及び栽培の実態調査	79	謝 辞	91
3 土壌の調査・分析	79	引用文献	91
		Summary	94

I 緒 言

近畿・中国地域の中山間地域における小規模・多品目の野菜生産においては、大規模・省力生産をめざす産地とは異なり、消費地である都市に近接している特徴を活かした多様な生産・流通形態が行われている。こうした地域における野菜の生産戦略の一つとして、有機物を積極的に利用し、減化学肥料をめざした栽培、即ち「有機栽培」志向により消費ニーズに応えようとする流れがある。また、近年の

「有機認証制度」⁴⁸⁾の策定は、こうした流れを加速させる傾向にある。

ところが、野菜生産においては、このように有機物を主要な肥料＝作物栄養成分の供給源とした施肥管理技術は、以前から試みられてはいるものの^{4,49)} 普遍技術としては確立されていない。

そこで本調査研究では、こうした方向をめざしている典型的な地域である、京都府北桑田郡美山町を対象として、有機栽培を行っている野菜栽培圃場の土壌の、主として化学性の実態及び土壌・施肥管理

(平成13年12月4日受理)

野菜部

*野菜茶業研究所 葉根菜研究部

の実態調査を行った。併せて、これまでの農業改良普及センター、京都府農業総合研究所等の関係機関における、土壌管理・分析等の既存の成果の収集により、土壌管理上の問題点を摘出することをめざした。これらにより若干の成果を得たので報告する。

なお、本調査は当センターの総合研究第4チーム及び野菜部において実施中の、地域先導技術総合研究「中山間水田における害虫総合防除等による高品位野菜生産システムの確立、2001～2005年度」の予備調査として実施したものである。

Ⅱ 材料及び方法

1 美山町の水田の土壌分類と生産力可能性分級要因別等級の面積

京都府農業総合研究所環境部により作成された美山町の土壌図²⁴及び、地力保全基本調査土壌図解説書²⁵に基づいて、同町の野菜栽培の主体となっている水田圃場全体について、分布する土壌統群及び生産力可能性分級要因別等級の面積を算出した。

2 土壌・施肥管理及び栽培の実態調査

京都府京北農業改良普及センターの協力により、美山町の野菜の有機栽培農家ビニルハウス5地点について、ビニルハウスの建設年次、有機物・肥料の種類と施肥量の履歴、作物の種類と作付け回数、圃場整備、暗渠や客土の有無などを聞き取り調査した。

3 土壌の調査・分析項目と方法

1) 土壌試料の採取と土層の状況

土壌試料の採取は、2000年11月に行った。調査地区の土壌は土層の下部に礫層が出現したため、土層の深さ別に礫層出現までの土壌をハンドオーガーを用いて採土した。0～15cmを作土とし、以下を下層土とした。また、湿土の土色、土性を調査した。

2) 土壌のpH、電気伝導度、交換性陽イオン、陽イオン交換容量

pH (H₂O)、電気伝導度 (以下: EC)、カリ、石灰、苦土、ナトリウムは定法⁵⁾によった。陽イオン交換容量 (以下: CEC) は定法⁵⁾の各種試薬を用い、Polemioら³⁴⁾の装置を用いる振とう浸出法によった。即ち、遠沈管に土壌試料を採取し、中性N-酢酸アン

モニウムで交換性塩類を振とう遠沈抽出し、80%中性メタノールで3回振とう遠沈により洗浄した後に、中性10%塩化ナトリウムで吸着されたアンモニウムイオンを抽出した。このアンモニウムイオンをホルモル滴定法³⁵⁾で定量して、CECを測定した。

これらの結果から、塩基飽和度とCaO/MgO及びMgO/K₂O比などの塩基バランスを算出した。また、診断基準値は、3つの基準値^{2,30,37)}を参考にした。

3) 土壌のリン酸、マンガン、全炭素、全窒素、重金属類、塩素、硫酸イオン

Truog-リン酸、交換性マンガンは定法⁹⁾によった。全炭素、全窒素はN, C乾式燃焼法⁵⁾によった。カドミウム、銅、ニッケル、亜鉛などの重金属は30℃条件でのN/10塩酸抽出液について⁶⁾原子吸光法³⁷⁾で分析した。塩素、硫酸イオンは、EC測定後の懸濁液を遠沈及びろ過して測定に用いた⁵⁾。塩素はイオン電極による検量線法¹⁸⁾で、硫酸イオンはイオンクロマトグラフ法⁵⁾で分析した。

4) 水溶性成分とその交換性・有効態に占める割合

水溶性成分については、EC測定後の懸濁液を遠沈及びろ過して測定に用いた。即ち、カリ、石灰、苦土、ナトリウム、マンガンは原子吸光法で、リン酸はTruog法に準じて分析した。

5) 無機態窒素と可給態窒素

アンモニア態、硝酸態、亜硝酸態などの無機態窒素はN-K₂SO₄溶液で抽出し³⁶⁾、硝酸態窒素、アンモニア態窒素についてはイオン電極による標準添加法¹⁸⁾で分析、また亜硝酸態窒素は同溶液を簡易型反射式光度計 (関東化学: R Q フレックス) で分析した。

可給態窒素は定法⁵⁾により30℃で28日間培養した後に、N-K₂SO₄溶液で抽出し、硝酸態窒素、アンモニア態窒素及び亜硝酸態窒素を上記の方法で分析し算出した。

4 美山町で使用している堆肥の肥料成分等の調査

美山町で使用している主な堆肥6点について、全窒素、全リン酸、全カリなどの肥料成分及び、水分、全炭素、を分析しC/Nを算出した。全炭素、全窒素はN, C乾式燃焼法⁵⁾で、全リン酸、全カリは硫酸一過酸化水素分解²⁶⁾した液を、全リン酸はバナドモリブデンイエロー比色法³¹⁾で、全カリは原子吸光法³¹⁾

で分析した。

Ⅲ 結 果

1 美山町の水田の土壌分類と生産力可能性分級要因別等級の面積

美山町の野菜は主に水田地目で栽培されているが、土壌図等（京都府農総研，1974年調査）^{24,25)}によると美山町全体の水田土壌は、6土壌群、14土壌統群があり多様であった。主な土壌群は灰色低地土（41%）、多湿黒ボク土（23%）、褐色低地土（18%）、黄色土（12%）であった。また水田を転換畑として利用する場合の生産力可能性分級要因別の面積をみると、作土が浅く、礫層出現深が浅いために有効土層が浅い圃場の割合が高かった。また、土性が砂壤土質の場合は過干の恐れがある圃場の割合も全体の20%を占めたが、他の多くの圃場ではその恐れはなかった。表土の礫含量、耕耘の難易及び障害性については問題のない圃場が多かった。（第1表）

2 土壌・施肥管理及び栽培の実態調査

調査した5圃場のいずれも地目は水田であり、ビニルハウスによる野菜の周年栽培を行っていた。作付けされている作物はコマツナ、ミズナ、ホウレンソウなどの軟弱野菜が主で、トマト、キュウリなどを輪作作物として導入している圃場もあった。

肥料成分としては化学肥料は3年間以上使用されておらず、発酵鶏糞、市販または同町内における堆肥センターで製造されたオガクズ牛糞堆肥、自家製または市販のボカシ肥料やなたね油粕、有機配合肥料などがビニルハウス建設以降用いられていた。これらの年間施用量は、牛糞堆肥では3~40t/10a、発酵鶏糞では1.2~1.5t/10aが施用されており、作付け毎にボカシ肥料やなたね油粕、有機配合肥料などが適宜に施用されていた。

圃場整備は1981~1994年にかけて4圃場で行われていた。従って、1974年度に行われた水田時の土壌統群とは変化して、礫層が浅い位置から出現する礫質褐色低地土が多くなっていった。暗渠は1圃場で施工されており、客土をしている圃場はなかった。また、有機栽培で困っていることとして、害虫や雑草の発生が多いとしている圃場があった。（第2表）

3 土壌の調査・分析

1) 土壌試料の採取と土層の状況

野口は²⁸⁾水田転換畑作物の安定生産のためには、地下水位が重要な要因であり、多くの野菜類で、地下水位が30~60cm以下であることが望ましいとしている。そこで本調査においても60cm程までの生産阻害要因を評価する必要があると考えたが、実際には調査5圃場のうち4圃場までが35cm以内で礫層が出現したため、比較的浅い土層までしか試料採取ができなかった。また2圃場（A, D）では下層土の一部を採取しなかった。土色は有機物の多量施用により作土及び下層土ともに灰黄褐~黒褐色を呈していた。また作土の土性は2圃場が細粒質で、3圃場が壤質であった。上記の地力保全基本調査によれば、これらの圃場は各々異なる土壌統群に属していた。（第3表）

2) 土壌のpH, EC, 交換性陽イオン, CEC

pHはどの圃場も高めであった。ECは1圃場で著しく高いが他は正常範囲であった。カリ、石灰、苦土は過剰である圃場が多く、作土の塩基飽和度は全圃場で概ね100%か、それ以上の値を示し基準値を大幅に超えていた。特にA, B両圃場は作土のみならず下層土もカリ含量が著しく多く、その結果MgO/K₂Oのバランスも悪化していた。ナトリウムは2圃場でカリの診断基準値に相当する程の高い含量が認められた。（第4表）

3) 土壌のリン酸, マンガン, 全炭素, 全窒素, 重金属類, 塩素, 硫酸イオン

リン酸は1圃場以外は過剰であり、特に2圃場では下層土まで過剰であった。マンガンは必須微量元素であるが、同時に過剰障害も生じやすい成分である。本調査のうちではいずれの土壌も診断基準値の範囲内で問題はなかった。全炭素、全窒素は有機物の多量施用を反映して含量が高かった。

重金属類については土壌汚染防止法²⁹⁾により、銅のみが具体的基準値が定められており、N/10塩酸可溶性成分の含量が125mg/kg未満とされている。本調査圃場においてはいずれも基準値未満であった。カドミウムは水稻についての基準があるが、具体的な土壌中の含量の基準値は定められていない。カドミウムについては、現在野菜を含めた多種の作物や土壌の基準値策定のための研究が進められてい

第1表 美山町の水田土壌を畑利用する場合の生産力可能性分級要因別等級の面積割合* (%)

等級**	表土の 厚さ	有効土層 の深さ	表土の 礫含量	耕耘の 難易	過湿の 恐れ	過干の 恐れ	自然 肥沃度	養分の 豊否	障害性
I	0	35	52	58	79	64	55	54	96
II	39	21	48	42	20	16	45	46	0
III	61	40	0	0	1	20	0	0	4
IV	0	4	0	0	0	0	0	0	0

* 京都府農総研，地力保全基本調査資料による。水田の総面積は522ha。

** I～IVは生産力可能性の等級であり，Iはほとんど制限因子がない。IIは若干の制限因子がある。IIIはかなり大きな制限因子がある。IVは極めて大きな制限因子があり耕地としての利用が困難。

第2表 土壌・施肥管理および栽培の実態

圃場	ハウス 建設年次	堆肥・有機物 の種類	同左施用量 (t×回数/10a/年)	栽培作物	同左回数 (回/年)	暗渠の 有無	圃場整備 の年次	困ったこと
A	1992	ボカシ肥 発酵鶏糞 発酵牛糞	0.4×5 0.3×5 0.8×5	コマツナ トマトまたは キュウリを輪作	5-6 1	モミガラ 暗渠	1981	発酵不十分だと 虫の発生が多い
B	1992	牛糞堆肥 有機肥料+油粕	20 ×2 量不明	ミズナ	6	なし	1987	
C	1996	牛糞堆肥 (H12頃まで)	10 ×1	ミズナ コマツナ等葉菜	5 4	なし	1994	
D	1997	発酵鶏糞 ボカシ肥	0.3×4 0.3×4	コマツナ ハウレンソウ	2 2	なし	なし	虫の発生が多い 雑草の発生が多い
E	1998	牛糞堆肥 鶏糞、米糠、油粕、 魚粕等のボカシ	2.7×1 量不明	葉菜類 トマト ウリ類	2-3 1 1	なし	1981	

第3表 調査圃場の土壌断面

圃場-層位	土層深(cm)	土色	土性	礫層	水田時の土壌統群 ²⁴⁾
A-1	0-15	10YR3/3	L-SiL	35cm以下礫層	礫質褐色低地土斑紋あり
A-2	30-35	10YR3/4	L-SiL		
B-1	0-15	10YR4/3	SL	22cm以下礫層	礫質灰色低地土灰色系
B-2	15-22	10YR4/4	SL		
C-1	0-15	10YR4/2	SiCL-CL	25cm以下礫層	厚層腐植質多湿黒ボク土
C-2	15-25	10YR4/4	CL-SiCL		
D-1	0-15	10YR3/2	CL-SiCL	45cmまで無し	中粗粒褐色低地土斑紋あり
D-2	30-45	10YR3/3	SiCL		
E-1	0-15	10YR4/3	L-SL	35cm以下礫層	細粒黄色土斑紋あり
E-2	15-30	10YR4/4	L-SL		
E-3	30-35	10YR4/4	SiL		

第4表 土壌のpH, EC, 交換性陽イオン, CEC

(乾土当たり)

圃場 -層位	pH (H ₂ O)	EC (1:5)	交換性陽イオン(mg/100g)				CEC (meq/100g)	塩基飽和度 (%)	CaO	MgO
			K ₂ O	CaO	MgO	Na ₂ O			MgO	K ₂ O
A-1	7.1	0.89	273	703	204	24	28.9	144	3.4	0.7
A-2	7.3	0.67	249	552	128	14	22.0	144	4.3	0.5
B-1	7.3	0.31	141	295	85	7	16.4	110	3.5	0.6
B-2	6.9	0.47	117	260	81	11	13.3	121	3.2	0.7
C-1	6.9	1.23	47	459	116	21	18.9	126	4.0	2.5
C-2	6.7	0.41	41	291	70	11	18.3	82	4.2	1.7
D-1	7.1	0.74	73	445	92	21	18.9	120	4.8	1.3
D-2	5.9	0.07	12	122	18	2	15.8	35	6.7	1.6
E-1	6.8	0.34	21	267	39	4	12.6	96	6.8	1.9
E-2	6.8	0.10	9	211	31	2	11.9	78	6.8	3.4
E-3	7.3	0.05	8	144	27	1	13.0	51	5.4	3.4
診断基準値	6-6.5	0.3-0.8	15-50	250-320	50-75		15	80	3.5-5.6	1.1-2.9

注) 圃場-層位は第3表に準ずる

るが、本調査圃場における含量は問題なしとみてよい。亜鉛及びニッケルについてはN/10塩酸可溶性成分の基準値はないが、過剰障害発生の恐れがあるような値⁴⁶⁾よりも低く問題はなかった。しかし必須微量元素の面から見ると、亜鉛及び銅欠乏状態の土壌²⁹⁾の存在が認められた。

また、塩素は250mg/kg以上で過剰障害を受ける可能性がある⁴⁶⁾が、この値を超える含量が2圃場で認められた。

硫酸イオンは250mg/kg以上で過剰障害を受ける可能性がある⁴⁶⁾が、この値を超える含量が作土では3圃場、下層土まででは4圃場で認められた。また硫酸イオンは水溶性陰イオンのうち最も高い割合を占めた(第5表)。

4) 水溶性成分とその交換性・有効態に占める割合

水溶性カリ、石灰、苦土、リン酸、ナトリウムはかなりの量が検出された。特にカリは、水溶性でも交換性に関する診断基準値に相当する量が含まれている圃場が多かった。水溶性リン酸は通常ほとんど検出されないが、2mg/100g以上認められる圃場があった。(第6表)。

水溶性成分がその交換性、有効態成分に占める割合は、ナトリウムで高く、次いでカリで高かった。

石灰と苦土は圃場によって異なり、20%以上を占める圃場と数%の圃場とがあった。リンは有効態に占める割合が上記の成分に比較して低く、3圃場で1%未満であったが、1圃場で1%以上、1圃場で3%以上を占めていた(第6表)。

5) 無機態窒素と可給態窒素

硝酸態窒素の野菜栽培中における適正範囲は10-20mg/100g程度であるので、3圃場の作土で過剰域であった。アンモニア態窒素の診断基準値について渡辺は⁴⁶⁾0.5-1.25mg/100gが適正としているが、2圃場の作土で5mg/100g以上認められ、これらの圃場では下層土でも2mg/100g以上認められた。また、亜硝酸態窒素のガス障害発生の恐れのある診断基準値である0.1mg/100g以上の蓄積が2圃場の作土及び1圃場の下層土で認められた(第7表)。

畑土壌の可給態窒素の基準値はないが、本調査圃場のうち、2圃場で30mg/100g以上の高い値が認められた。

4 美山町で使用している堆肥の肥料成分等の調査

全国農業協同組合中央会の資料をまとめた藤原⁹⁾によれば、有機物の腐熟に関連した堆肥の推奨基準値として、水分は70%以下、C/Nは30以下、全窒素、

第5表 土壌のP₂O₅, MnO, T-C, T-N, 重金属類, Cl, SO₄* (乾土当たり)

圃場 -層位	P ₂ O ₅	MnO	T-C	T-N	Cd	Cu	Zn	Ni	Cl	SO ₄
	(mg/100g)		(%)		(mg/ kg)					
A-1	695	0.38	8.8	0.83	0.3	0.5	0.3	0.1	203	294
A-2	407	0.31	4.7	0.43	0.4	0.5	4.6	0.1	120	354
B-1	206	0.22	4.2	0.36	0.4	1.6	4.5	3.1	49	130
B-2	154	0.35	3.1	0.29	0.3	3.2	7.3	3.3	103	335
C-1	101	0.33	3.1	0.36	0.3	1.8	8.0	3.9	419	1407
C-2	38	0.42	2.2	0.20	0.4	3.1	2.6	2.1	152	357
D-1	114	0.13	5.1	0.44	0.4	0.7	14.5	0.7	262	366
D-2	24	0.25	3.1	0.22	0.3	3.5	2.4	2.1	27	43
E-1	43	0.21	2.1	0.21	0.3	3.8	4.6	1.0	32	107
E-2	26	0.18	2.0	0.17	0.2	4.5	3.0	1.5	25	36
E-3	19	0.23	2.4	0.21	0.3	4.5	1.9	0.9	24	26
基準値-1**	40-80	0.2-4				0.8-2	4-40			
基準値-2***						125 ^{>29)}			250 ^{>46)}	250 ^{>46)}

* MnOは交換性, 重金属: Cd, Cu, Zn, Niは N/10 HCl可溶性, Cl, SO₄は水溶性.

**基準値-1は必要成分としての診断基準値.

***基準値-2は障害の恐れのある基準値.

注) 圃場-層位は第3表に準ずる

第6表 水溶性成分とその交換性・有効態に占める割合

圃場 -層位	水溶性成分(mg/乾土100g)					交換性・有効態成分に対する割合(%)				
	K ₂ O	CaO	MgO	P ₂ O ₅	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	P ₂ O ₅	Na ₂ O
A-1	80.9	42.7	23.8	12.84	11.4	29.7	6.1	11.7	1.85	47.1
A-2	69.7	28.5	11.9	2.40	10.8	28.0	5.2	9.3	0.59	74.9
B-1	35.4	15.7	6.0	6.19	6.3	25.1	5.3	7.0	3.01	87.8
B-2	37.3	25.4	11.1	2.85	10.0	31.9	9.8	13.8	1.85	89.9
C-1	10.9	95.6	34.2	0.45	11.4	23.3	20.8	29.6	0.45	53.1
C-2	4.7	34.3	10.4	0.03	8.1	11.4	11.8	14.9	0.09	77.0
D-1	31.6	45.2	16.3	0.23	11.4	43.2	10.1	17.8	0.20	53.2
D-2	1.9	9.4	0.7	0.03	2.0	16.3	7.7	3.6	0.12	116.6
E-1	4.3	32.8	6.4	0.06	4.5	20.6	12.3	16.2	0.14	101.0
E-2	1.6	12.5	1.4	0.06	1.9	17.5	5.9	4.5	0.23	124.6
E-3	1.5	9.3	1.0	0.10	1.5	19.4	6.4	3.8	0.53	127.8

注) 圃場-層位は第3表に準ずる

全リン酸、全カリなどの肥料成分は1%以上とされている。本調査結果によると、調査した6点すべてがこの基準値をクリアしていた（第8表）。

IV 考 察

1 土壌と栽培管理

本調査地域のような多様な土壌タイプの存在と、土壌管理上の問題点の程度の多様性は中山間地域の特徴の一つと考えられるが、特に小規模・多品目の野菜栽培に当たっては、広大な平野部とは異なり、一律ではなくきめ細やかな土壌管理対策が必要であることを示している。

京都府の生産力可能性分級によると、本調査圃場の水田を転換畑として利用する場合においては、ほとんどの圃場では過湿の恐れはない、となっている。しかし、傾斜地における階段状の水田では水田造成時に切り土・盛り土工法を行うが、山側に相当する切り土部位では、周囲水田の水稲作付時や多量の降雨時に、水田利用時に作られたすき床層の直上部を水が流れるという、いわゆる「差し水」が発生することが多い。この現象は、圃場の背後に山が迫っている場合は周年的に生じている可能性が高い、有機

栽培において、「差し水」が発生している場合、有機物が下層土において還元発酵する危険性がある。この対策としては明渠や暗渠が有効であるが、本調査圃場の中で暗渠が施工されているのは1圃場のみであった。ただし本調査ではこの「差し水」の調査を行っていないので、可能性の指摘に留める。

ハウスのビニルを外して降雨にさらす機会のない周年栽培では、多くの産地ではメチルプロマイドやクロルピクリンによる土壌消毒が行われている。本調査圃場は有機無農薬栽培をめざしているため、このような薬剤の使用はもちろん認められない。本調査圃場においては、幸いにも明確な連作障害は未だ確認されていない。野菜産地では10年目頃から連作障害が発生し始める例が多い。本調査圃場も10年目に入ろうとしていることから、土壌微生物に起因する連作障害の予防対策が望まれる。有機栽培という制限の中で連作障害を回避・軽減し、土壌微生物フローを転換するために導入できる技術は、輪作、田畑輪換¹⁰⁾、太陽熱利用土壌消毒¹¹⁾及び有用微生物利用などに限られてくる。

本調査のうちでは上記の対策のうち、輪作が2圃場で導入されているに留まっていた。輪作により連作障害を積極的に軽減しようとする試みは、古くは

第7表 無機態窒素と可給態窒素

(Nmg/乾土100g)

圃場 -層位	培 養 前				培 養 後				可給態N
	NH ₄ -N	NO ₃ -N	NO ₂ -N	合計	NH ₄ -N	NO ₃ -N	NO ₂ -N	合計	
A-1	1.3	28.1	0.8	30.2	0.3	75.7	ND*	76.0	45.8
A-2	1.1	17.5	0.1	18.7	0.5	47.6	ND	48.1	29.4
B-1	1.0	5.7	0.2	6.9	0.3	19.4	ND	19.7	12.8
B-2	0.9	12.2	ND*	13.1	0.5	30.4	ND	30.9	17.8
C-1	6.0	26.4	ND	32.4	0.4	62.6	ND	63.0	30.6
C-2	2.4	8.0	ND	10.4	0.2	18.1	ND	18.3	7.9
D-1	5.2	22.4	ND	27.6	0.2	40.4	0.4	41.0	13.4
D-2	2.4	1.6	ND	4.0	0.4	7.1	0.2	7.7	3.7
E-1	0.7	13.3	ND	14.0	0.6	28.0	ND	28.6	14.6
E-2	0.6	3.4	ND	4.0	0.4	10.8	ND	11.2	7.2
E-3	0.8	1.8	ND	2.6	0.3	7.8	ND	8.1	5.5

* : ND=0.076>

注) 圃場-層位は第3表に準ずる

第8表 美山町で使用している堆肥 (%)

	水分	T-N	T-P ₂ O ₅	T-K ₂ O	T-C	C/N
鶏糞堆肥	39.0	3.4	3.7	1.8	37.1	10.8
発酵鶏糞	12.3	6.0	7.3	4.8	26.5	4.4
堆肥センター*	67.5	2.5	2.2	6.0	33.4	13.6
乾燥鶏糞	20.0	2.8	8.2	3.9	28.8	10.4
牛糞堆肥	67.7	1.6	1.1	3.0	41.2	25.1
ぼかし堆肥	35.9	3.8	6.0	2.1	43.5	11.3

*美山町の堆肥センターで作製している牛糞堆肥

ヨーロッパの三圃式農法がみられ、我が国では北海道において合理的畑作物輪作体系³³⁾が確立されている。しかし、野菜を基幹として1年間に何作もの種類を栽培する「短期輪作」の研究例は非常に少ない。

上記の薬剤は使用制限が迫っている背景もあり、環境にも農業生産者にも優しい技術の確立は緊急な課題である。輪作は、小規模・多品目をめざしている中山間地域になじみやすい技術であることから、今後科学的に裏付けられた、野菜を基幹とした短期輪作体系の確立が望まれる。

2 土壌成分含量の有機栽培における特徴

可給態窒素は培養後に、亜硝酸態窒素が0.1mg/100g以上検出された圃場が1ヶ所あるものの、アンモニア態窒素はほとんど認められず、ほとんどすべてが硝酸態窒素の形態であった(第7表)。一方、調査圃場ではアンモニア態窒素が検出された。このことから、適当な水分と温度(30℃)条件の人工気象器内での培養条件では硝化はほぼ順調に行われていると判断されるが、現場では乾燥、低地温などにより円滑な硝化が抑制されていると推察される。また、塩基飽和度が100%以上であるので、アンモニウムイオンが交換性陽イオンとして土壌に保持される容量が少なくなっており、換気を行わない冬期にはアンモニアガス障害の発生が懸念される。

亜硝酸態窒素も硝化が円滑に進行しない場合に蓄積する成分である。本調査圃場においても、現地の土壌において0.1mg/100g以上が検出される場合と、可給態窒素のための培養後に検出される場合とがあった。ビニルハウス栽培におけるこれらの有害ガスについては古くから指摘されており、診断方法も確

立されている⁴⁰⁾。これらの懸念に関する調査については今後の課題としたい。

可給態窒素は、水田では20mg/100g以上ではかなり窒素地力が高いとされている。本調査圃場のうち2圃場の作土で30mg/100g以上の高い値が検出された。このうち1圃場では下層土でも30mg/100gに近い値であった。この値は、コマツナなどの軟弱野菜では、栽培期間中の土壌の無機態窒素適正量は15mg/100g程度であるので、2~3作は無肥料で栽培可能な量に相当する。可給態窒素の蓄積は、地力窒素の面からは一般論としては望ましいが、上記のアンモニアや亜硝酸の供給源ともなるし、果菜類などを栽培する場合には草勢が強くなり過ぎて品質が低下する危険性がある。山田ら⁴⁰⁾は化学肥料単用区では可給態窒素が経年的に減少するのに対し、牛ふん堆肥単用区では可給態窒素が経年的に増加するが野菜の収量は化学肥料単用区に及ばなかったことを報告している。このように、可給態窒素の蓄積は単純に良いことだとは認められない。

水溶性リン酸は、有効態リン酸が診断基準値の範囲内ならば、通常はゼロである。しかし本調査では、2圃場で作土では6~13mg/100g、下層土でも2mg/100g以上検出され、有効態リン酸が150mg/100g以上になると水溶性リン酸が2mg/100g以上検出されるようである(第6表)。リン酸は土壌への吸着力が強いために、通常は下層土への溶脱が少ないが、下層土でも水溶性のものが検出されたということは、投入量が非常に多いことを示している。また、この要因は、リン酸含量の高い鶏糞や、濃厚飼料を与えられた牛糞、及び骨粉を含むぼかし肥料の多量施用にあると推察される。これらの圃場における水

溶性リン酸の作土中の含量は無視できない量であり、一部の陽イオンとやや難溶性の塩を形成している可能性がある。そして水溶性リン酸は、リン酸過剰の診断項目の一つになりうると思われる。ただし、この点についての詳細な検討は、既に指摘されているとおり1:5の水抽出液では無理であり、土壌溶液について行うことが必要である²⁰⁾ので、可能性の指摘に留める。

交換性カリは3圃場で診断基準値を超えているが、この要因は鶏糞や牛糞の多量施用に起因すると考えられる。これらの圃場では、数作は鶏糞や牛糞及び骨粉を含むぼかし肥料を使用せず、窒素成分の比率が他の成分よりも高い、なたね油粕やダイズ油粕のみの施用とすることが望ましい。家畜糞の連用により交換性カリが化学肥料区よりも蓄積しやすいことは山田ら⁴⁷⁾も認めており、また浦嶋ら⁴³⁾はマルチでその傾向が一層強まるとしている。

有効態リン酸の過剰蓄積も鶏糞や牛糞の多量施用に起因すると考えられる。この傾向は山田ら⁴⁷⁾も認めている。浦嶋ら⁴³⁾も同様な傾向を認めているが、交換性カリの場合と異なって、マルチの有無の差がなかったとしている。この違いは、リン酸が土壌に吸着されやすい成分であるのに対し、カリは吸着されにくい成分であることに因るものであろう。このことは本報の第6表からも納得できる。

交換性石灰、苦土は過剰である圃場が多く、有機認証制度でも天然物を原料とする石灰質資材の使用は認められていることから、施用されている。これらの成分はECを高める要因の主要なものであるし、pHも低くないので、当分の間石灰質資材の投入を控えるべきであろう。

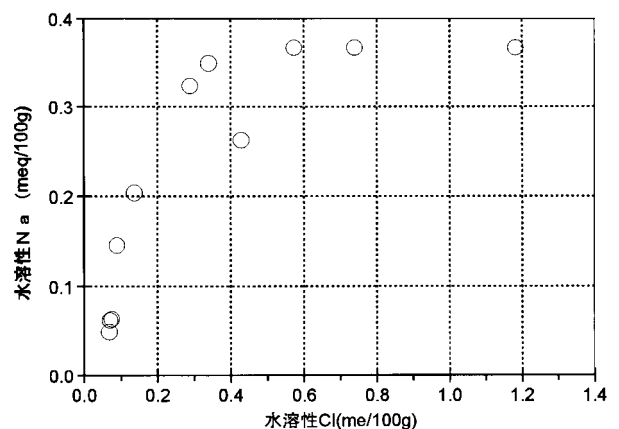
また交換性の成分についての診断は塩基の成分別飽和度によって行うことがより適切であるが⁷⁾、この方法でも診断結果は変わらないのでデータは省略した。

交換性ナトリウムは診断基準値はなく、土壌中ではカリの欠乏時にその代替成分となる作物があることから「有用元素」と呼ばれ³⁹⁾るが、一方、根からの他の必須養分吸収を妨げたり、土壌コロイドを解膠して団粒構造を破壊するとの指摘¹⁷⁾もある。本調査ではECに対する寄与率は低いが、調査時点の含量はカリの診断基準値と同程度の含量を含む圃場も

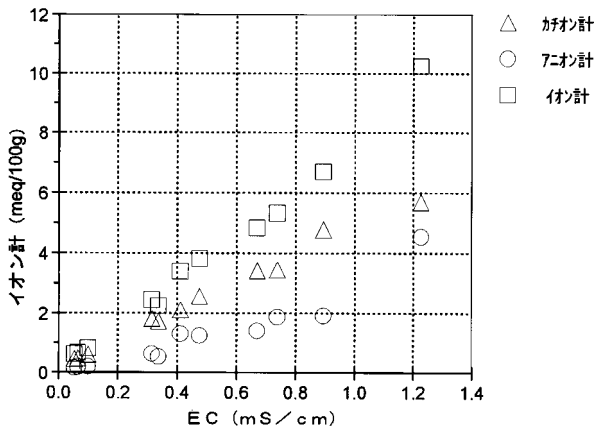
あるので(第4表)、現在以上の蓄積は好ましくない。このナトリウムの蓄積は牛に給餌する食塩に起因すると思われる。交換性ナトリウムに占める水溶性ナトリウムの割合をみると、交換性ナトリウムの含量が15mg/100g以上になると水溶性ナトリウムはあまり増加しなくなる。第4表に示したように、土壌コロイド粒子への交換吸着能の大きい石灰、苦土のみで飽和度がほぼ100%に達しているので、交換性ナトリウムのうち、水溶性でない部分は難溶性の塩として析出している可能性がある。ナトリウムイオンが多いことは、牛糞を主要な肥料源とする有機栽培土壌の特徴の一つであろう。牛糞堆肥単用区でのナトリウムの蓄積については山田ら⁴⁷⁾も同様な傾向を化学肥料単用区との比較で認めている。

ナトリウムとともに塩素が多い圃場が認められるが、これも牛に食塩が飼料として与えられた場合の糞尿を堆肥原料として用いていることに起因すると思われる。ナトリウムイオンと塩素イオンとの間には、当量の絶対値は塩素イオンの方が大きいものの、相関関係が認められ($r=0.776$)、要因として牛糞堆肥の寄与が強く示唆される。これらの成分の含量の多さと相関性は、牛糞を主要な肥料成分供給源とする場合の有機栽培土壌の特徴と考えられる(第1図)。

水溶性陽イオンの合計値と水溶性陰イオンの合計値との間には、高い相関関係($r=0.913$)が認められるが、その絶対値は陰イオンの方が低く、陽イオンと陰イオンとの比は7:3であった(第2図)。今回の調査では、炭酸イオン及び重炭酸イオンの分析を行わなかったので、推定の域を出ないが、陰イオ



第1図 水溶性Naイオンと水溶性Clイオンとの関係



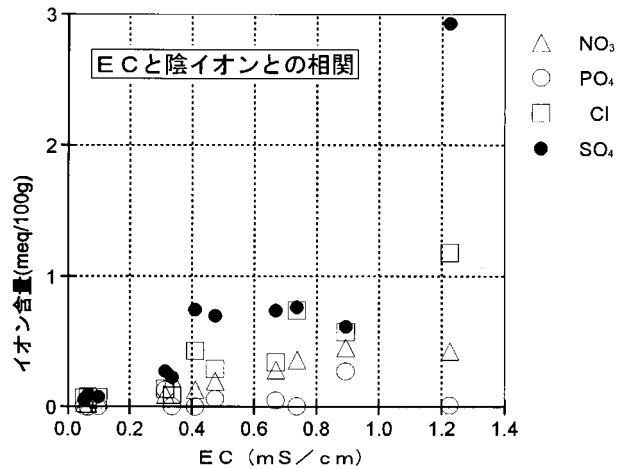
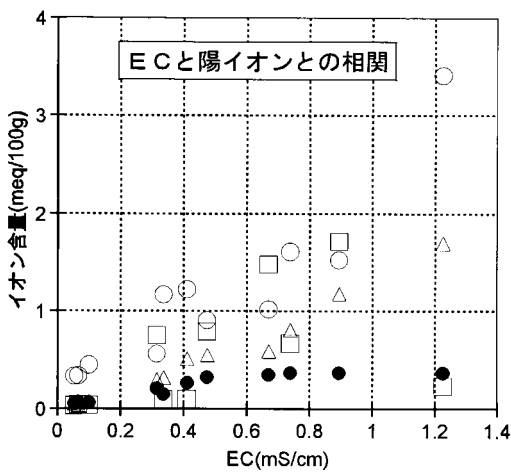
第2図 ECと水溶性陽イオン計および水溶性陰イオン計との関係

ンの不足分は、これらの炭酸関連イオン及び有機酸が占めていることが考えられる。亀和田²⁰⁾によると、化学肥料を主な肥料成分とした試験において、土壌溶液中の炭酸イオン及び重炭酸イオンの水溶性陰イオンに占める割合は大きくないとのことであるが、本調査における上記の不足分が炭酸関連イオン及び有機酸によるものとすれば、陰イオンの中でそれらの合計値が無視できないことになる。仮にそうだとすればその原因としては、有機物が微生物に分解される際に放出される炭酸ガス及び有機酸の寄与が推察される。とすると、このことは有機栽培土壌の特徴の一つと見なす。この場合、有機栽培における今後の土壌診断と解離性成分の挙動解析、更には今後必要になると考えられる土壌微生物の活性・バ

イオマス・フロラの解析においては、化学肥料を主とした栽培の場合と異なり、炭酸イオン及び有機酸の要因に留意することが必要になると予想される。

関東ハウス土壌研究グループが行った検討のまとめによれば²⁰⁾、ハウス土壌の水溶性塩類の主体は硝酸カルシウムであるとされている。しかし、本調査結果によると、カルシウムイオンと硝酸イオンとの間には相関は認められるものの ($r=0.810$)、絶対値は大きく異なり、硝酸イオンはカルシウムイオンの $17 \pm 8\%$ を占めるに過ぎない。本調査においても、最も含量が多かった陽イオンはカルシウムであり陽イオンの $52 \pm 18\%$ を占めていた。一方、陰イオンでは硫酸イオンと塩素イオンが主であり、両者で $76 \pm 11\%$ が占められ、硝酸イオンは $19 \pm 9\%$ に過ぎなかった。(第3図) 本調査の対象圃場が有機栽培であることから、恐らく化成肥料中心の施肥体系と推察される上記研究グループの結果とは異なったものと考えられる。

今後の施肥法診断に関連して、本調査圃場の範囲では、ECと硝酸態窒素との間には高い相関関係 ($r=0.948$) が認められた (第9表)。ECは水に溶けてイオン化する成分の合計量を反映する値であるので、特に硫酸イオン含量が多い場合には、硝酸態窒素との間に相関が認められない場合も多い^{9,38)}、しかし、本調査圃場のうちで相関が認められたことは、野菜の土壌診断において最も重要な項目の一つである硝酸態窒素をECで簡易診断できる可能性を示している。



第3図 ECと水溶性陽イオンおよび水溶性陰イオンとの関係

第9表 ECと水溶性陽イオン、水溶性陰イオンの相関係数行列

	K ₂ O	CaO	MgO	Na ₂ O	カチオン計	NO ₃ -N	P ₂ O ₅	Cl	SO ₄	アニオン計	イオン計
EC	0.51	0.91	0.98	0.89	0.99	0.95	0.34	0.93	0.85	0.94	0.99
K ₂ O		0.12	0.41	0.68	0.58	0.61	0.79	0.28	0.06	0.23	0.44
CaO			0.94	0.69	0.88	0.81	0.04	0.95	0.95	0.97	0.94
MgO				0.83	0.98	0.91	0.34	0.95	0.88	0.96	0.99
Na ₂ O					0.91	0.87	0.40	0.78	0.64	0.76	0.86
カチオン計						0.95	0.43	0.90	0.81	0.91	0.98
NO ₃ -N							0.44	0.82	0.66	0.81	0.91
P ₂ O ₅								0.10	-0.05	0.12	0.30
Cl									0.91	0.97	0.95
SO ₄										0.97	0.90
アニオン計											0.97

宗林ら³⁸⁾は、野菜栽培土壌の下層土において硫酸カルシウムの集積を確認している。また浦嶋ら⁴²⁾はマルチ栽培で、化学肥料区では下層土において硫酸イオンの蓄積が認められないが、牛糞堆肥区では30-60cm深で硫酸イオンの蓄積を認めている。本調査においても、水溶性石灰と水溶性硫酸イオンとの間に相関が認められ、当量含量もほぼ同等であることから同様のことが生じている可能性がある。また、化学肥料の場合は随伴成分として硫酸イオンが多くの場合含まれているが、有機物主体の本調査圃場において硫酸イオンが蓄積している要因としては、有機栽培でも施用が認められている天然物原料の石灰質資材の随伴成分や、餌として石灰質資材が与えられる鶏糞などが推定される。

1つの圃場で垂鉛が欠乏域にある例が認められたが、この原因はリン酸の過剰に基づく垂鉛の不可給態化によるものと推察される⁴⁰⁾。

以上より、肥料成分を家畜糞堆肥を主体とした有機物だけに依存するビニルハウスでの野菜栽培においては、吸収量と施用有機物の成分量とのアンバランスが生じていることが判明した。また、周年栽培であり、ビニルを外して降雨にさらすことがないために、蓄積は一層高まることとなる。本調査圃場の

作土について見ると、ビニルハウス建設年次の古い圃場ほど、交換性・有効態成分含量の蓄積が多い傾向が認められた(第4図)。一方、各種の水溶性陽イオン、陰イオン成分については、このような傾向は見られなかった(第5図)。

3 土壌窒素動態の有機栽培における特徴

可給態窒素の蓄積量の多いA圃場について年間当たりの窒素の投入、吸収、土壌への残留・溶脱についてバランスシート解析を試みた。この圃場ではトマトまたはキュウリを隔年に導入し、コマツナ中心の4年サイクルの輪作を行っている。

年間投入量は、主として第8表の値を用いた。

発酵牛糞 窒素： $0.81\% \times 0.8t/10a \times 5作 = 32.4kg/10a$

ボカシ肥 窒素： $3.8\% \times 0.4t/10a \times 5作 = 76$

発酵鶏糞 窒素： $6\% \times 0.3t/10a \times 5作 = 90$

合計窒素投入量 = $198.4kg/10a/年 \dots \dots \dots$ (①)

また年間吸収量は、

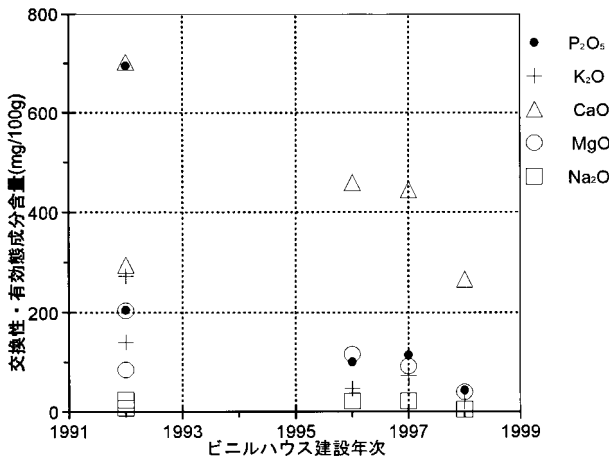
コマツナ平均4作/年

収量： $2000kg/10a$ ³⁹⁾

窒素% = $蛋白2.6^{39)} \times 蛋白中窒素含量16\% = 0.42\%$

吸収量 = $2000kg/10a \times 0.42 \times 4回 = 33.6kg/10a/年 \dots \dots$ (②-1)

*市販のものであり、表示票の値である。



第4図 ビニルハウス建設年次と交換性・有効態成分含量との関係

トマト 0.25作/年

吸収量=20kg/10a×0.25回=5kg/10a/年

……(②-2)

キュウリ 0.25作/年

吸収量=20kg/10a×0.25回=5kg/10a/年……(②-3)

合計=(②-1)+(②-2)+(②-3)=43.6kg/10a/年……(②)

となり、土壤蓄積量+溶脱量+揮散量は

=①-②=155kg/10a/年……(③)となる。

以上の要領で、第2, 8, 10表の値を用いて、各圃場について窒素収支を算出した(第6図)。この際、有機質肥料やボカシ肥料など、施用量が不明な場合は、通常の施用量で推定した。また、トマト、キュウリについては、収量も成分含有率も分析していないので、養分吸収量に関する文献^{16,35,40)}を参考にし、

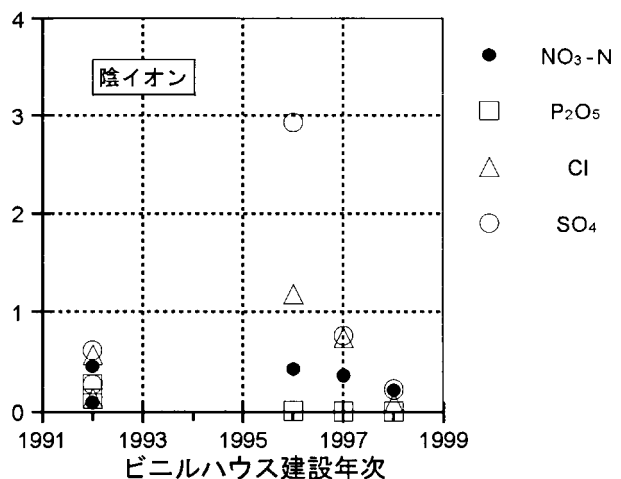
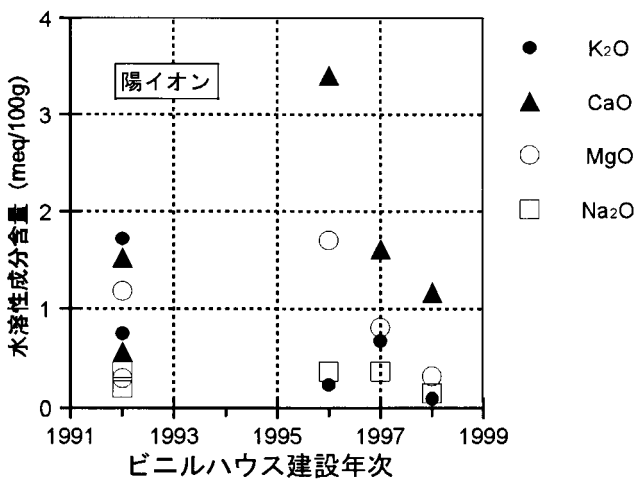
20kg/10aとした。これによるといずれの圃場も投入量が吸収量を大きく上回っており、土壤蓄積量+溶脱量+揮散量がかなりあることになる。

このように家畜糞を多量に施用した場合の例の一つとして、小川ら³²⁾は農業試験場内で10年間乾燥豚糞を連用した土壌を詳細に調査し、糞から無機化した硝酸態窒素が地下水を汚染していると推定している。

4 論議

有機栽培においては、化学肥料主体の栽培と異なり、土壌中の個別の成分の不足のみを補う手段が著しく制限される。必須成分のうち、窒素に関しては、リン酸やカリ含量の高い家畜糞に偏重せず、窒素のみが高いナタネ油粕やダイズ油粕のようなものも併用することや、C/Nが高いイネわらやムギわらなどの未分解有機物の施用によって、無機態窒素を有機化させて溶脱しにくくすること、場合によっては無肥料栽培も必要であろう。この場合、イネわらやムギわらなどを一時的に多量施用すると、窒素飢餓により初期成育が遅れる恐れがある。また、ナタネ油粕やダイズ油粕の多量施用は、これらに含まれる易分解性窒素の割合が高いために、かえって窒素の溶脱を促進させる恐れがある。そこで、これらの施用に当たっては、適切な土壌診断に基づいて行う必要がある。これにより生産性を維持しつつ過剰窒素を減らし、環境保全に繋がると考えられる。

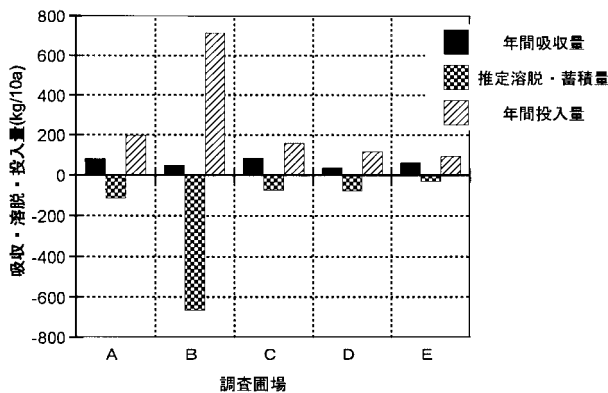
山田ら⁴⁷⁾は、有機栽培を行う場合には、地力の維



第5図 ビニルハウス建設年次と水溶性成分含量との関係

第10表 窒素収支の推定に用いた値

圃場	投入資材の種類	N (%)	投入N量 (kg/10a/年)	作物の種類	収量 (t/10a)	N (%)	作付回数	吸収量 (kg/10a/年)
A	発酵牛糞	0.81	32.4	コマツナ	2	0.42 ¹⁹⁾	4	33.6
	ボカシ肥	3.8	76	トマト	—	—	0.25	5
	発酵鶏糞	6.0	90	キュウリ	—	—	0.25	5
B	牛糞堆肥	1.6	640	ミズナ	2	0.42 ¹⁹⁾	6	50.4
	有機肥料+油粕	5	76					
C	牛糞堆肥	1.6	160	コマツナ	2	0.42	4	33.6
				ミズナ	2	0.42	5	42
D	ボカシ肥	3.8	45.6	コマツナ	2	0.42	2	16.8
	発酵鶏糞		72	杓苧	2	0.53	2	21.1
E	牛糞堆肥	1.6	43.2	コマツナ	2	0.42	2.5	21.0
	ボカシ肥	3.8	51.3	トマト	—	—	1	20
				キュウリ	—	—	1	20



第6図 窒素の投入，吸収，溶脱・蓄積量の推定

持・増強や物理性改善のための堆肥と、肥料的効果のためのナタネ油粕等の有機質肥料とを使い分け、その場合も堆肥の施用量は1作に10t/10a、年間20t/10aまでとすることが必要としている。本調査圃場においては、B圃場以外では牛糞堆肥の施用量は山田らの指摘している範囲に入っているが、牛糞堆肥よりも成分含量の高い発酵鶏糞が2圃場で併用されており、さらにボカシ肥料も3圃場で施用されている。こうした施用により各種成分の蓄積に繋がったと考えられる。

環境保全的な面から見ると、地下水に対する硝酸汚染の原因は、家畜糞の素掘り堆積が主要因であり、次に年間施用量の多い茶園が問題とされており、既

に法による調査と規制も始まっている。しかし、多くの野菜栽培圃場での年間施用量をみると、茶園に匹敵する施用量となっている。本報でも5圃場について窒素の収支を推定したが、窒素の少なくない割合が溶脱・蓄積・揮散されていることが推定された。困難な有機栽培に取り組んでおられる農家の皆様に敬意を表するとともに、環境保全的な面と有機栽培の生産安定化の両立が必要であると考えられる。そのための土壌管理技術の確立は簡単ではないが、多様な中山間農業生産形態の選択肢の一つとして確立することは、我々土壌肥料研究分野の責であると信ずる。

本調査研究によって、調査対象地点数は少ないものの、化学肥料を中心とした施肥体系圃場と有機栽培施肥体系圃場とでは、土壌の化学性の組成と特徴が異なり、特に、ビニルハウス栽培で、家畜糞を主体とした有機物のみによる施肥体系では、各種の肥料成分及び随伴成分が土壌に蓄積するとともに、肥料成分のアンバランスが生ずることが判明した。

「有機認証制度」においては、環境保全的な面は制限事項にはなっていない。しかし、本調査によれば、硝酸、リン酸、硫酸イオン、石灰、苦土、ナトリウム、塩素などが下層土まで溶脱している実態が明らかとなった。今後、「有機認証制度」に関してもこうした面の配慮による改善が望まれる。同時

に、現在進行中の我々の地域総合研究において、これらの点を克服し、環境に優しい有機栽培土壌管理指針を策定するための研究の必要性和方向性が明らかになったと考える。すなわち、野菜の窒素吸収量に見合った堆肥や有機質肥料の施用技術、過剰に土壌に蓄積した窒素の低減化と溶脱防止技術、牛糞堆肥や発酵鶏糞の施用に伴うカリやリン酸の溶脱・蓄積量の解明等がその主なものである。

これまでの日本の有機栽培の一つに自然農法がある。この方法は、家畜糞は用いず、作物遺体や雑草などの堆肥により養分を供給するものであった⁴¹⁾。本調査圃場のうちいくつかは自然農法をめざしているが、用いられている有機物は伝統的な自然農法とは全く異なる。米国でも状況は基本的に同じであり⁴⁰⁾、「有機認証制度」⁴⁸⁾においても各種の有機物資材が列挙されている。また全国で最初に県として有機無農薬栽培指針をまとめた岡山県でも⁴⁾、本調査圃場のように家畜糞に特化した施肥管理は見あたらない。ハワード¹⁹⁾は堆肥の作り方に関してインドール法を提案している。これは、家畜糞のみならず、各種の作物遺体や雑草などを混合堆積、切り返すものである。これは決して珍しいものではなく、日本においても昔から行われている方法である。

西尾²⁷⁾は、日本型有機栽培の技術課題を検討し、雑草や落葉などで窒素、カリを確保し、リン酸補給のために家畜糞尿の利用や、3年に1回程度の水田化を提唱している。水田化は還元作用によって難溶性リン酸が有効化するからである。この場合水田化は上記のように連作障害対策としての効果もある。

また筆者は、微生物の種菌としての完熟堆肥と微生物のエサとしての未分解有機物との併用により、微生物密度が急速に高まると同時に、フロラが多様化することを認めた¹²⁾。関連して微生物のエサになりやすい雑草類としては、レンゲなどに加えて、ハギ、クズやササなどの有効性が古くから知られている¹⁾。本地域は中山間であり、景観形成の面からも行政的な補助などにより、これらの雑草を有効利用する施策は考えられないだろうか？

一方、山田ら⁴⁷⁾は、試験場内で牛糞堆肥のみによる有機栽培を9年間17作行い、この区は化学肥料のみの区よりもキャベツ、レタスの収量は劣り、タマネギは年度により一定の傾向が認められないとし、

同時にこの区は各種の有機、無機成分が蓄積して過剰域に達した成分もあることから、牛糞堆肥のみによる栽培は好ましくなく、堆肥と有機質肥料の併用が望ましいとしている。

また上沢は⁴⁹⁾、全国の公立試験場で行われている土壌環境基礎調査の中間とりまとめを行い、化学肥料、有機物の連用が土壌・作物収量に及ぼす影響の全国的解析を報告している。それによれば、有機物施用区は化学肥料単用区に比べ有効態リン酸、交換性苦土およびカリが著しく増加し、交換性石灰はやや増加するとし、有機物の種類別に見るときゅう肥連用区で有効態リン酸の増加が著しいとしている。更に、きゅう肥の施用量と畑作物の収量指数（化学肥料区＝100）については、きゅう肥の2t未満では平均112、2～5tでは120と増加する、しかし5t以上では113と逆に2t未満と同等になるとしている。これらの結果が示している土壌の変化は、本報の結果と基本的に符合するものである。

5 今後の課題

今回の調査においては、農業改良普及センター担当者によると、同町で有機栽培を実施している圃場は本調査圃場である5圃場のみであるとのことであった。今後は、調査対象圃場を化学肥料栽培圃場や折衷的な圃場にも拡大するとともに、本調査圃場の継続的な推移の調査及び、上記の「差し水」を含む詳細な土壌断面調査や物理性、生物性の調査が必要であると思われる。

そして、養分供給量と野菜体内の成分分析による吸収量とのバランスの解析により、環境にも優しい有機栽培技術体系としてグレードアップするための解析研究と技術確立のための研究が、我々に課せられていると考えられる。

また、本調査においては、重要な成分であるホウ素の分析を行っていないが、塩類集積によりアルカリ化が進んだ土壌では、ホウ素の不可給化が予想される²³⁾とともに野菜の品質低下の大きな要因となりうるので、今後の課題としたい。

さらに、池田ら¹⁵⁾、浦嶋ら⁴⁴⁾や堀¹³⁾は塩類ストレスが各種の微生物フロラや活性に影響を及ぼすことを報告しているが、有機栽培では無機塩類のみの濃度ストレスを扱ったこれらの報告とは異なった結果

となることも想像に難くないものの、こうした点も今後の課題である。

V 摘 要

中山間地域における野菜の有機栽培ビニルハウスの作土及び下層土の、主として化学性の実態を調査した結果、以下の土壌管理上の問題点・特徴が抽出された。

1 中山間地域の水田利用野菜栽培圃場の特徴として、礫層の出現により有効土層が浅い圃場が多かった。

2 土壌のpHは高めであり、EC、交換性陽イオンはほとんどが診断基準値を超えて高く、塩基バランスが悪化している圃場が多かった。

3 土壌のリン酸はビニルハウス建設年次の古い圃場で著しく含量が多く、これらの圃場では水溶性リン酸も検出され、下層土までリン酸が溶脱・集積している圃場が認められた。

重金属類は土壌汚染防止に関する基準値を超えている例はなかったが、過剰に含まれているリン酸によると推定される、亜鉛欠乏の恐れが認められる圃場があった。塩素は単独で過剰障害の恐れが認められる圃場があった。化学肥料を主とした施肥体系の場合とは異なり、硝酸カルシウムが主成分ではなく、硫酸イオンが水溶性陰イオンのうちで最も多く、ECを高めている主要因の1つであった。同時に、炭酸イオンの寄与率が高いことが推察された。

4 カリ、石灰、苦土が過剰に蓄積している圃場が多く、このうちカリ、苦土は水溶性の含量も高いことから、下層土まで溶脱・集積している圃場が認められた。ただし、化学肥料を主とした施肥体系の場合と比較すると、カルシウムが主成分ではあるものの、その寄与率は低くカリ、マグネシウムの寄与率が高かった。

5 作土の硝酸は多くの圃場で過剰であり、下層まで溶脱・集積している圃場が認められた。亜硝酸がガス障害発生の恐れのあるレベルに蓄積している圃場、及び潜在的にその恐れがある圃場が認められた。可給態窒素の含量は概して多く、数作を無窒素で栽培可能なほど蓄積している圃場も認められた。

6 環境保全の面から窒素の収支の推定を行ったと

ころ、投入窒素の30-90%が野菜に利用されず、溶脱・蓄積・揮散されていると推定された。

7 また、当町内で流通・使用されている主な堆肥中の肥料成分等の実態が明らかとなり、適正施肥法確立のための基礎資料が得られた。

8 以上の結果、有機栽培土壌では、化学肥料主体の場合と比較して化学性が大きく異なることが判明し、同時に小規模な中山間地域における有機栽培では、比較的画一的な対策で対応できる、大規模な平野・台地・丘陵地における化学肥料主体の場合とは異なる土壌・施肥管理指針が必要であることが明らかとなった。

謝 辞

本調査研究の実施に当たっては、京都府農業総合研究所環境部より美山町の土壌図²⁴及び、地力保全基本調査土壌図解説書²⁵を借用し引用させていただいた。美山町役場産業課の皆様、京都府京北農業改良普及センターの竹原進課長及び中澤尚技師には、調査農家圃場の選定と調査に当たっての案内及びアンケートの聞き取り調査について協力を頂いた。調査対象農家の皆様には、調査及びアンケートへの協力と土壌試料の提供を頂いた。

また、当部の四方平和部長及び総合研究第4チームの田中和夫チーム長、尾島一史主任研究官には、調査計画や聞き取り調査などについて助言・協力を、長澤鹿津子氏には土壌分析の支援を頂いた。

以上の皆様方に深く感謝いたします。

引用文献

- 1) 安資農夫 1984. 緑肥使用方法書. 明治農書全集 10巻—土壌肥料—, 農文協, 東京. 229-261.
- 2) 安西徹郎1996. 土壌の化学性の診断方法と基準. 土壌診断の方法と活用. 農文協, 東京. 87-112.
- 3) 青葉高 1974. 生育のステージと生理, 生態. 農業技術体系野菜編7巻, ツケナ類. 農文協, 東京. 基24.
- 4) 中国地域野菜技術研究会岡山県支部 1988. 土づくりと施肥. 有機無農薬農産物栽培指針. 3-32.
- 5) 土壌標準分析・測定法委員会編 1986. 土壌標準

- 分析・測定法.pH:70-71, EC:74-76, 乾式燃焼法:77-85, 交換性陽イオン:155-160, MnO:221-224, 可給態窒素:122-124, 水溶性陰イオン, イオンクロマトグラフ法:140-147, CEC:150-154. 博友社. 東京.
- 6) 土壤環境分析法編集委員会編1997. 0.1M塩酸抽出法. 土壤環境分析法. 博友社. 東京.341-343.
- 7) 藤原俊六郎 1996. 化学性の診断結果と施肥設計. 土壤診断の方法と活用. 農文協, 東京. 126-130.
- 8) 藤原俊六郎 2000. 堆肥の品質分析について, 腐熟度についての考え方. 堆肥等有機物分析法. 日本土壤協会. 東京.1-13.
- 9) 藤原敏郎・工藤康将 2000. アンモニア態窒素優占茶園における土壤ECによる無機態窒素の推定. 平成11年度近畿中国農業研究成果情報. 中国農業試験場編. 425-426.
- 10) 堀兼明・森田儔・村松安男・森田儔・中村秀雄・鈴木徹司・河森武1979. 半促成トマトのしおれ症状防除に関する研究(第8報)夏期水田化が土壤微生物相に及ぼす影響.静岡農試研報 24:33-41.
- 11) 堀兼明・森田儔・中村秀雄・鈴木徹司・村松安男・河森武, 1979. 同上(第10報)夏期ビニルハウス密閉が土壤微生物相に及ぼす影響.静岡農試研報 24:48-53.
- 12) 堀兼明・村松安男・森田儔, 1980. 園芸作物培地の生産力と土壤微生物に関する研究.(第4報)各種有機物施用がトマトの褐色根腐病と土壤微生物相に及ぼす影響. 静岡農試研報 25:26-35.
- 13) 堀兼明 1991. 塩類集積土壤および消毒土壤の診断のための土壤微生物相指標. 農業研究センター編, 平成2年度総合農業の新技術127-133.
- 14) Howard A.著, 横井利直・江川友治・蜷木翠・松崎敏英共訳1985. 堆肥製法インドール方式. ハワードの有機農業 下巻. 農文協. 東京.38-41.
- 15) 池田順一・小林達治・高橋英一 1987. 共生窒素固定および土壤中でのアンモニア化成・硝酸化成に及ぼす塩類ストレスの影響. 日土肥誌 58:53-57.
- 16) 稲山光男1985.生育ステージと養分吸収. 農業技術体系. 農文協, 東京, 土壤施肥編6-①:技術174-176.
- 17) 岩田正久 1984. 置換性ナトリウム. 農業技術体系土壤施肥編, 農文協. 東京.4:基本143.
- 18) JIS K012297 1997.イオン電極測定法通則
- 19) 科学技術庁資源調査会編 四訂日本食品標準成分表準拠 1985. 食品成分表,野菜類. 一橋出版. 東京. 74-90.
- 20) 亀和田國彦 1991. 土壤溶液イオン組成からのECの推定とアニオン種の違いがECおよび浸透圧に及ぼす影響. 日土肥誌62:634-640.
- 21) 関東ハウス土壤研究グループ 1966. ハウス土壤の塩類集積の実態.農及園. 41:1451-1455.
- 22) 加藤哲郎 1996. 微量要素の診断. 土壤診断の方法と活用. 農文協. 東京. 104-111.
- 23) 加藤俊博1984. ホウ素. 農業技術体系, 農文協, 東京, 土壤施肥編4:基本160-161.
- 24) 京都府農業総合研究所 1976. 水田および畑地土壤生産性分級図. 京都府京北・船井東北地域.
- 25) 京都府農業総合研究所 1979. 地力保全基本調査土壤図解説書, 京北地域. 35-36.
- 26) 水野直治・南松雄 1980. 硫酸一過酸化水素による農作物中N, K, Mg, Fe, Mn 定量のための迅速前処理法. 日土肥誌51:418-420.
- 27) 西尾道徳 1997. 日本型有機栽培の技術課題. 農文協. 東京.256-274.
- 28) 野口正樹 1988. 転換畑への作物導入に当たっての留意事項. 水田利用高度化のための技術指針-近畿中国地域. 中国農業試験場編 234-237.
- 29) 農林水産省肥料機械課監修 1984. 土壤汚染に係る環境基準及び農用地土壤汚染対策地域の指定要件. ポケット肥料要覧. 農林統計協会. 東京 313.
- 30) 農林水産省肥料機械課監修2001. 地力増進法, ポケット肥料要覧. 農林統計協会. 東京358-368.
- 31) 農水省農業環境技術研究所編 1992.肥料分析法. ホルモル滴定法:16-18, バナドモリブデン酸アンモニウム法:34-37, 全カリ:43-45.
- 32) 小川吉雄・小川奎・千葉恒夫・泉沢直・石川実 1988. 乾燥豚ふんの多量施用が農業環境に及ぼす影響. 農及園 63:615-620.
- 33) 奥村正敏・山神正弘・東田修司 1997. 効果的な

- 土壌管理のための主要畑作物の輪作年限ならびに作付組み合わせ. 日土肥誌68:331-335.
- 34) Polemio M. and Rhoades J.D. 1977. Determining cation exchange capacity : A new procedure for calcareous and gypsiferous soils : Soil Sci. Soc. Am. J., 41:524-528.
- 35) 嶋田永生1976. 果菜類の養分吸収. 野菜の栄養生理と土壌. 農文協, 東京176-177.
- 36) 塩見文武・五島皓 1981. イオン電極法による桑園土壌中の $\text{NH}_4\text{-N}$ と $\text{NO}_3\text{-N}$ の同時浸出測定. 蚕試研究118: 21-27.
- 37) 静岡県農業水産部編 1976. 農耕地土壌の改善基準と土壌改良法. 農作物施肥基準 (五訂版) 229-239.
- 38) 宗林正・西田一平・平岡美紀・木村桐・瀬崎滋雄 1993. 奈良県における硫酸カルシウム集積土壌の分布とその特性. 奈良農試研報24:55-61.
- 39) 高橋英一・前島一宏・岡崎美晴 1997. カリウム供給量を変えて土耕栽培した葉菜類に対するナトリウムの施用効果. 日土肥誌. 68:363-368.
- 40) 武井昭夫1997. 養分吸収の特徴と施肥の考え方. 農業技術体系, 農文協, 東京, 野菜編 2 :追録 22号, 基335-338.
- 41) 宇田川武俊1998. 全国MOA自然農法産地支部連合会編, 有機物による土づくり. 農文協. 東京.65-79., 169-183.
- 42) 浦嶋泰文・塩見文武・須賀有子・堀兼明 2000. 家畜糞堆肥連用およびマルチ条件における土壌の化学性の垂直分布. 近畿中国農研100:3-7.
- 43) 浦嶋泰文・塩見文武・堀兼明2001. 家畜糞堆肥連用圃場におけるマルチを利用したダイコンの栽培. 近畿中国農研101:3-8.
- 44) 浦嶋泰文・須賀有子・福永亜矢子・堀兼明 2001. 画像解析による細菌の運動性解析. 日土肥誌72:85-87.
- 45) 上沢正志 1991. 化学肥料・有機物の連用が土壌・作物収量に与える影響の全国的解析. 農業技術46:393-397.
- 46) 渡辺和彦 1986. ガス障害の診断: 120-121., 窒素:197-202., 塩素・硫酸イオン:218-220., 亜鉛:175-178., ニッケル:183-188.原色生理障害の診断法 農文協. 東京.
- 47) 山田裕・鎌田春海 1989. 有機農業の技術的評価 (第1報) 有機栽培が野菜の収量および土壌に及ぼす影響. 神奈川農総研研報 131:1-13.
- 48) 有機農産物の日本農林規格 1999.
- 49) 全米研究協議会リポート. 1992. 久馬一剛・嘉田良平・西村和雄監訳, 代替農業, 自然農法国際研究開発センター. 農文協. 東京186-200.

Soil Chemical Characteristics of Organic Farming Vegetable Fields

Kaneaki HORI, Ayako FUKUNAGA, Yasuhumi URASHIMA*,
Yuko SUGA and Jun-ichi IKEDA

Summary

Soil chemical characteristics of organic farming vegetable fields in the plastic film green house were investigated. All fields were not applied chemical fertilizer but only cattle or hen feces or organic fertilizer. Five fields were investigated. Soil samples were collected from plowed layer and subsoil layer. Soil chemical characteristics of organic farming fields were different from chemical fertilizer farming fields. Problems of soil management on organic farming fields were summarized as follows.

- 1) The effective depth of soil were 22-35 cm caused by appearance of gravelly layer except one field.
- 2) While pH were adequate, soil electric conductivity and exchangeable cations content were high and cation balance were not adequate on several field. Sulfate was one of the major component causing high soil electric conductivity.
- 3) The amount of accumulated available phosphorus and exchangeable cations were correlated with cropping period. On several fields, water soluble phosphorus was also detected on plowed layer and subsoil layer.
- 4) Zinc deficiency, NO₂ excess or chloride excess were detected on some fields.
- 5) High accumulation of available nitrogen were observed on some fields.
- 6) The estimation to the nitrogen input-output balance analysis showed that 30-90% of nitrogen were leached or accumulated or volatilized.

近畿中国四国農業研究センター研究報告 第1号

平成14年 3月25日 印刷

平成14年 3月29日 発行

発行所 独立行政法人 農業技術研究機構
近畿中国四国農業研究センター
〒721-8514 広島県福山市西深津町6-12-1

発行者 権 藤 昭 博

印刷所 (株)デルタプリント
〒732-0802 広島市南区大州2丁目12番15号

本研究報告から転載・複製する場合は、近畿中国四国農業研究センターの許可を得てください。