

## 研究紹介

## カンキツの水分生理特性の解析に基づく「マルチ・ドリップ栽培技術」の開発

森 永 邦 久

(応用植物科学コース)

### Development of New Irrigation System based on Water Relations Research for Citrus Fruit Production

Kunihisa Morinaga

(Course of Applied Plant Science)

A new cultivation system using drip irrigation and liquid fertilization methods combined with year-round plastic mulching system (DLYM system) was developed, expecting high quality and stable fruit production based on the research results on water relations of Satsuma mandarin (*Citrus unshiu* M.), where sugar accumulation in fruit was caused by an increase in translocation of photosynthates into fruit under drought stress.

Water and/or nutrient solution is automatically supplied through the drip tubes laid under mulching sheets to give adequate water stress. Fruit quality was well controlled through the DLYM system. Sugar content of fruit increased by 2 Brix %, and functional components such as  $\beta$ -cryptoxanthin and  $\beta$ -caroten increased by about 50% compared to juice from fruit grown on control trees. In addition, new technologies were developed, such as hydraulic design support system and water stress indicator sheet.

**Key words** : water stress, drip irrigation, mulching, satuma mandarin

## はじめに

カンキツは果樹の中では比較的夏季の乾燥に強く、乾燥しやすい西南暖地の傾斜地で栽培されている理由の一つである。特にわが国の主要品種である温州ミカン (*Citrus unshiu* Marc.) では果実成熟期の乾燥が果実の糖度などの品質向上につながっていることが経験的に認められていた。したがって、かん水の必要性は1960年代以前には一般的にはほとんど認識されていなかったが、カンキツの高品質化への要請と同時に干ばつなどを機にした隔年結果による収量の変動に伴う経営の不安定化が指摘されるようになるとかん水管理の重要性が提起され

るようになった。それに伴い、1960代からの畑地かんがいの研究の進展をもとにカンキツ園でもスプリンクラの導入が積極的に進められた<sup>10)</sup>。しかし、現在ではカンキツ園地におけるスプリンクラ施設は老朽化や品種の多様化などにより利用は限られたものになってきており、同時に干ばつや多雨など近年の気象の変化に対応した細かな品質管理ができる新たな栽培管理システム、また水源確保の困難な傾斜地でも利用できる節水型かん水システムが生産現場において求められていた。

これまで著者は農林水産省研究機関ならびに独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構（農研機構）において、カンキツをはじめとした果樹の栽培生理の研究とともに、こうした新技術開発のグループ責任者として、技術の開発と高度化を進め、同時に生産地への普及に従事してきた。本稿では、カンキツ、特に温州ミカンの水分生理の特徴の研究をもとにして進めてきた新たなかん水技術の特徴と効果、ならびに今後の展開方向について紹介する。

## 1. 温州ミカンの水分生理と果実品質

果樹の品質構成要因としては糖含量（糖度）、酸度、外観（果皮の障害の有無）、果実の形状などがあげられるが、果実品質は収量とともに経営上きわめて重要な要因である。これらの中でも果実糖度が最も重視される品質要素であるが、果実中の糖は成熟期の樹体の水分状態と密接な関係をもっており、特に温州ミカンでは水分ストレスが強まると果実内の糖や酸などの成分は直線的に増加することが示されている<sup>4)</sup>。このことは経験的にも知られており、実際栽培においても果実成熟期には水分ストレスが維持できるように降雨を遮断できる「マルチ栽培」が重要な高糖度果実生産技術として行われてきた。水分ストレスによって温州ミカンの糖度などの果実内成分が増大する機構について、著者は主に細胞の浸透調節機構が働いていること<sup>14)</sup> (Fig. 1)、糖代謝の変化（単糖類から多糖類への合成機能の抑制）などが認められていること<sup>14)</sup>、また、果実への光合成産物の転流量の増加など糖の転流機構の変化<sup>9)</sup>が生じていること、などを示してきた。しかし、一方では樹体が強い水分ストレスにおかれると光合成速度や光合成産物の転流が阻害され、果実肥大が低下する等の現象も見られる<sup>5)</sup>。したがって、果実肥大と糖度の向上のバランスをとるためには適度な水分ストレスが重要<sup>14)</sup> (Fig. 2)であり、樹種、品種、生育ステージによってどのくらいであるかを知る必要がある。温州ミカンでは極早生から晩生品種で違いがあるが、果実肥大、光合成速度、糖集積からみて、果実成熟期において $-0.8 \sim -1.5$  Mpaの葉の水ポテンシャル(日の出前計測水ポテンシャル)が適度な水分ストレスの指

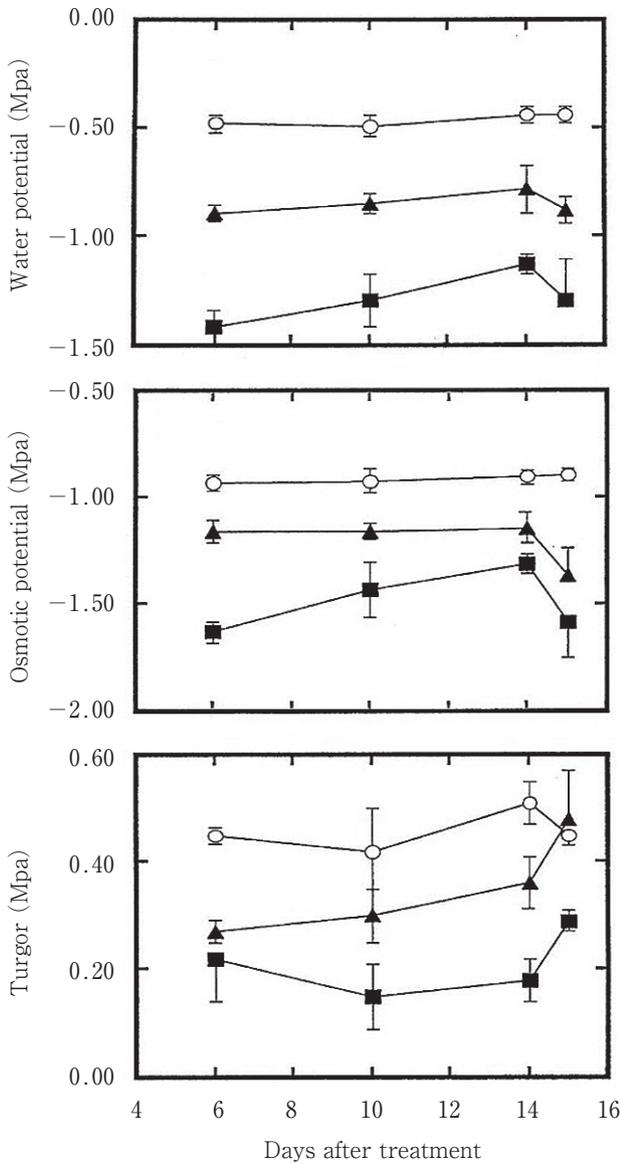


Fig. 1 Change of water potential (A), osmotic potential (B), and turgor (C) of peel of satsuma mandarin fruit grown under well-watered (○), moderately drought-stressed (▲), and severely drought-stressed (■) conditions. Each point is the means  $\pm$  SE of the three peels, each from a different fruit.

標であると考えられた<sup>5)</sup>。したがって、生産現場においても強すぎない水分ストレス状態を保持できるようなかん水管理が安定した品質管理のためには不可欠であるといえる。

一方では、温州ミカン以外のカンキツ類（中晩生カンキツなど）は温州ミカンと異なって、水分に関する反応がきわめて異なる。これらのカンキツでは水分条件よりも果実の成熟とともに糖度は上昇する傾向にあり、水分条件の変化による果実糖度の向上効果は温州ミカンより

低いといえる。またこれらの果実は大きい方が商品性に優れることから、乾燥をできるだけ避け、果実の肥大促進を図るために十分なかん水を行うことが重要である。このようにカンキツの種類、あるいは時期によってかん水の必要性、必要量は異なっているため、品種の特性ならびに気象条件の変化に対応できるかん水管理が重要である。

## 2. カンキツ生産におけるかん水方法としてのドリップかん水

1960年代から1970年代前半までは、温州ミカンの高価格により、農家収益が大きく向上したことから温州ミカンの栽培拡大が急速に進行し、これに呼応して畑地かんがい施設、スプリンクラの導入が進められた。スプリンクラが導入された当時は、ほとんどが温州ミカンでその品種・系統数も現在と比べると少なく、同一のかん水基準や防除基準に従った地域単位での共同利用による効果が高かった。しかし、温州ミカンの価格低迷による中晩生カンキツ品種の導入や温州ミカンの中でも極早生から晩生まで系統が拡大し、品種・系統の多様化が顕著になってからはかん水や防除の共同利用的な必要性が低下して、むしろ個人で自由に利用できる個人配管かん水装置を設置する園も見られてきた。また、スプリンクラの設置後30年以上経過した共同利用施設では配管資材の劣化による漏水の懸念などの問題が顕在化しているところも見られる。さらに後述するようなドリップ（点滴）かん水に利用できる水源として共同利用施設の水利用の可否が議論されている。

こうしたスプリンクラかん水のもつ課題や傾斜地園地で制限された水源などの問題から、著者らはさらに効率の良いドリップかん水のカンキツ園への導入を検討した。ドリップかん水法はいわゆる「マイクロかんがい」の一つの形態として、もともと乾燥地の多いアメリカやオーストラリア、イスラエルなどで発展してきたもので、わが国でも近年施設の野菜栽培などを中心として利用されている<sup>10)</sup>。その節水効果などの利点は早くから畑地におけるかん水ですでに認められている。

これまでドリップかん水では資材も含めて多くの改良がなされ、利点として、1) かん水効率があがる、2) 施肥効率があがる、3) 雑草問題が減少する、4) 収量、品質が向上する、などがあげられている。

このような背景のもと、水源確保の困難なカンキツ生産地帯における立地や生産目的、労働条件に沿った新たなかん水方式としてドリップかん水システムの開発、導入を進めた。

## 3. 新たなかん水技術 マルチ・ドリップ方式の開発

前述したように、カンキツの中でも特に温州ミカンの果実品質は樹体の水分状態に大きく左右され、水分スト

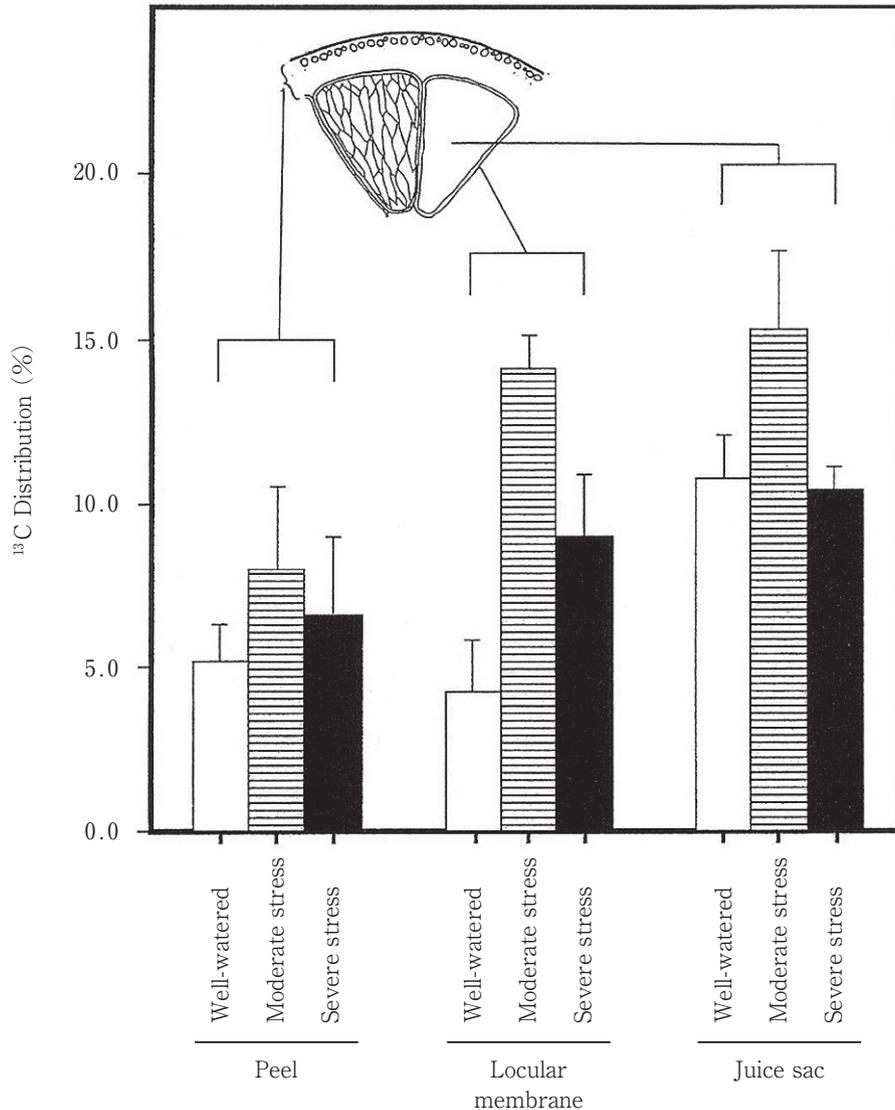


Fig. 2 The distribution percentage of the assimilated 13C in peels, locular membranes and juice sacs of satsuma mandarin fruit grown under well-watered (open column), moderately drought-stressed (laterally striped column), and severely drought-stressed (shaded column) conditions. Each error bar indicates the mean  $\pm$  SE of three tissues from a different tree. Peels, locular membrane, and juice sacs of satsuma mandarin fruit are shown in a schematic diagram.

レスを与えることで糖度を向上させようことから、これまでは産地での品質向上技術として、夏から秋の降雨を遮断するいわゆる「夏秋季マルチ栽培」(マルチ栽培)が従来は行われてきた。しかし、この方法では、年によっては降雨が少ない場合には乾燥しすぎて酸が高くなる、樹体が弱る、また夏のマルチ敷設は重労働であり被覆面積を拡大できない、降雨や土壌水分状況により被覆開始時期の判断が難しい、などの多くの問題が生じている。このような問題を解決するための新たな技術として、降雨と乾燥のどちらにも対応できる技術として、降雨を遮断するマルチシートの下にドリップチューブを敷設することを考案し、マルチ栽培の持つ効果を活用しながら、

同時にドリップチューブによってかん水ならびに施肥を行うことで、マルチ利用のみの問題解決を進め、省力と高品質果実生産を実現できるマルチ・ドリップ方式「周年マルチ点滴かん水同時施肥法」を提唱した<sup>7,8)</sup>。その後、技術の検証や高度化を数年を経て進めると同時に生産現場への普及を現場指導者とともに進めてきた。

このシステムではマルチ被覆によって降雨を遮断すると同時に、いつでもかん水や施肥を行えるので、適度な水ストレス管理ができ、長雨や干ばつなど年による予測が困難な気象変化の影響を最小限に抑えた品質制御が可能である。

なお、この技術はマルチとドリップチューブを併用し

たシステムであることから、「マルドリ方式」と略称されている。

#### 4. マルチ・ドリップ技術の内容

本技術はいくつかの要素から構成されるもので、それらについては技術マニュアルなど<sup>6,9)</sup>で要素ごとに詳述している。ここでは主たる部分について述べたい。

##### (1) 技術の構成と特徴

本方式の施設，システムの概観と構造は Fig. 3 に示したようであり，また導入された園の事例を Fig. 4 に示し

た。

園地の上部に位置する池や水槽などの水源から導水管を通じて園地まで水を引き，途中にフィルタを取り付ける。また液肥混入器と液肥タンクにより，自動的な液肥濃度の調整と液肥施用が可能である。ドリップチューブは樹冠下に設置し，透湿性マルチシートで被覆して，電磁弁とコントローラを用いてかん水施肥を自動制御するものである。次のような3つの点を大きな特徴としている。

- 1) 園地の表面に基本的に一年中マルチをする。

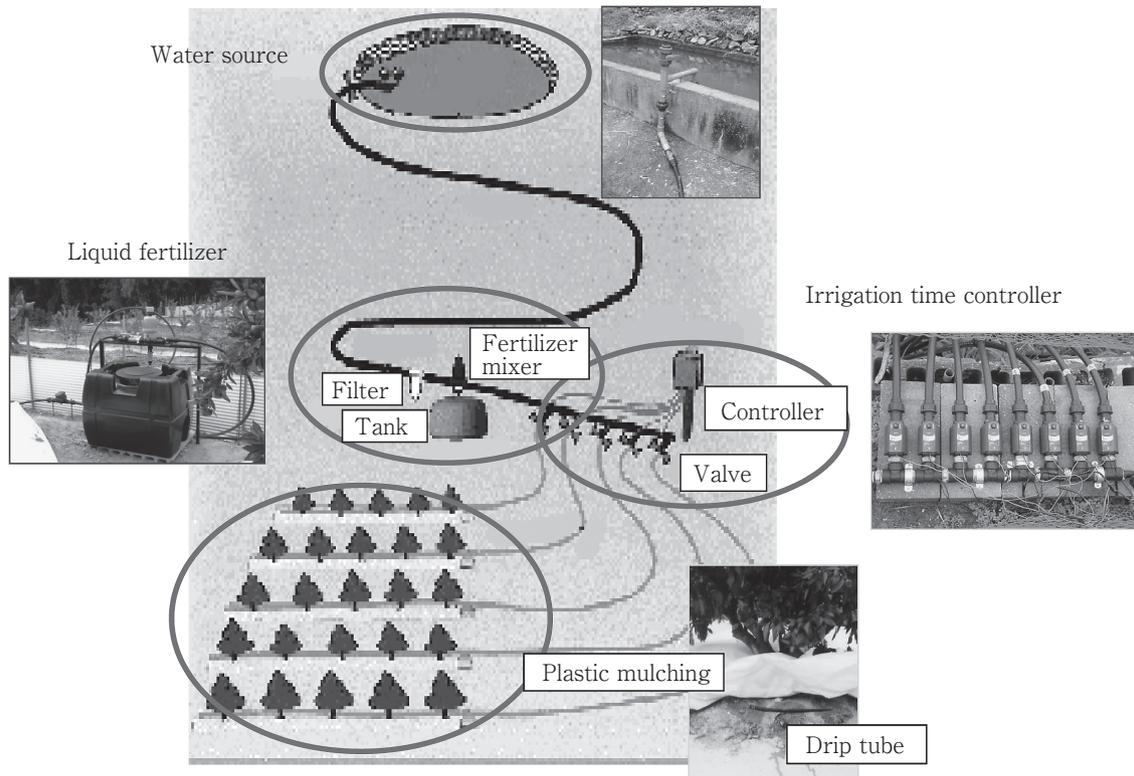


Fig. 3 Structure of drip irrigation and liquid fertilization methods combined with year-round plastic mulching system (DLYM system)



Fig. 4 Satsuma mandarin orchard installed with drip irrigation and liquid fertilization methods combined with year-round plastic mulching system (DLYM system). Ehime (left), Kagawa (center) and Wakayama prefectures (right)

これまでのマルチ栽培の問題点であった毎年のマルチ敷設と撤去が不要になり、また雑草抑制に効果が高い。現在最も耐久性の高いマルチ資材で約3年は連続使用が可能である。周年マルチにした場合、敷設や撤去の労力がいらず、雑草防除の省力面などでの大きな長所も多いが、一方ではマルチの劣化も早いなど不利な点も存在する。こうしたことからマルチを敷いておく期間については個々の農家の労働条件や経営、園地条件などに応じて得失を総合的に考慮して判断すればよく、マルチ期間については必ずしも「周年」に画一化する必要はないと考えられる。

2) ドリップチューブを利用してかん水施肥を行い、自動化する。

ドリップチューブを用いることにより、前述したように根域へのかん水施肥や大幅節水が可能になるとともに樹体や環境条件に応じて必要な時に、必要なだけの養水分を与えることができる。

3) 施肥管理は液体肥料で行う。

これまでの固形肥料に代わって、施肥管理は液体肥料を利用する。肥料成分などは土壌や生育ステージの実態に合わせて選択が可能である。液肥は吸収が早く、固形肥料と比べて吸収効率も高い。

**(2) 施設の設置費用**

技術導入する場合の主な資材と費用は、水源の有無など園地の条件によって大きく異なるが、水源設置や工事

費用を除いた資材のみの費用例では、10 a 当たりでは、透湿性マルチ(ハードタイプ)=約15万円、ドリップチューブ=5~10万円、液肥混入器=6.5万円、電磁弁(4台)=2.5万円、かん水制御機=4.5万円、フィルタ=1万円などである。したがって、導入時必要経費合計は約40万円/10 a 程度となる。また、自動化装置にマルチを加えた1年間当たりの負担費用は約8万円である<sup>9)</sup>。

費用については異なる資材を用いることで多様な選択肢があるが、それぞれの資材の耐用年数や省力効果などを十分に考慮して選択する必要がある。

**5. マルチ・ドリップ技術の効果**

本技術は品質の向上と安定化を主目的として開発したものであるが、実際の生産現場で導入可能な省力・軽労化効果なども併せ持つ必要があり、これらの効果を多様な園地で検証した。さらに、研究の過程で環境負荷低減効果や肥料削減効果なども有していることが明らかとなり、これらについても検討を行った。

**(1) 果実品質の向上**

Fig. 5 には、4年間マルチ・ドリップ方式で栽培管理した極早生ならびに普通温州の糖、酸および糖酸比など果実品質の4年間の平均値を示した。対照樹と比較して毎年安定して糖度は高く、しかも果実生育期にかん水管理ができるので、ほぼ適正な酸の制御が可能となり、糖と酸のバランスのとれた高品質果実が安定的に生産でき

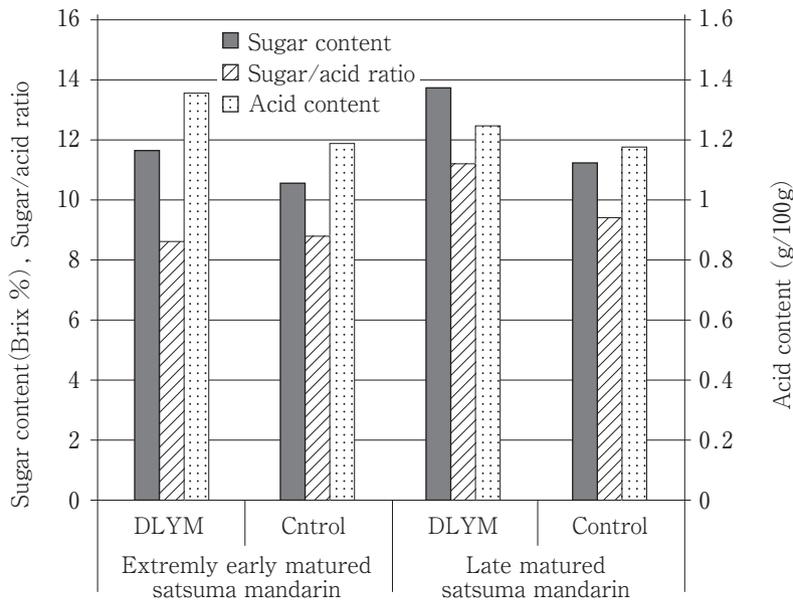


Fig. 5 Effects of DLYM on sugar content, acid content and sugar/acid ratio of extremely early and late matured satsuma mandarin fruit.

DLYM : drip irrigation and liquid fertilization methods combined with year-round plastic mulching system, Control : not using any irrigation system and mulching. Extremely early matured satsuma mandarin : Nichinan No. 1, Late matured satsuma mandarin : Aoshima Unshiu.

ることが明らかであった<sup>8)</sup>。

また、極早生温州(‘日南1号’)の糖度分布においては対照区では約85%が11度未満であったが、マルチドリップ区では約45%が11度以上の糖度を示した。

同じ極早生温州の果実等級分布では対照区が「優」ならびに「秀」の割合が高いのに対して、マルチ・ドリップ区では「特」の割合が約20%と高いのが特徴的であった。このように、糖度や果実等級は園地全体でのばらつきも少なくなつて、秀品率が大幅に向上した<sup>8)</sup>。

さらに、果汁中の機能性成分については、マルチ・ドリップ方式区極早生温州‘日南1号’は対照区と比べて、 $\beta$ -カロテンで約1.7倍、 $\beta$ -クリプトキサンチンとビタミンAでは約1.5倍と高い値を示した<sup>8)</sup>。

## (2) 管理作業の省力・軽労化

従来のマルチ栽培の課題のひとつは、被覆作業の労働負担が大きいことであるが、周年マルチによって被覆、撤去の作業が大幅に省力化される。時期的にも夏の暑い時期のマルチ敷設や収穫後の撤去が不要になる。

年間の作業においてマルチ・ドリップ方式の導入前に対する導入後の省力効果について調査した結果、作業時間は従来の露地栽培に比較して、マルチの敷設時間が増加するものの、着色の進み方が均一で採取回数が減るため、収穫作業での減少が大きかった。また、中耕除草作業もかなり減少した。増加する作業としては装置の維持点検がある。実際の技術導入農家の調査によると、極早生温州での年間作業時間は慣行栽培と比べ、17.5時間/10a(約10%減)の省力効果が認められている<sup>8)</sup>。

果実品質の向上とともに、本技術での特徴はマルチによる抑草効果で、除草剤の費用が節減でき、除草作業も省力化できる点である。かん水や施肥作業もすべて自動化装置を用いることで省力・軽労化効果は高いといえる。

## (3) 環境負荷低減

環境負荷低減については、窒素肥料が一部カンキツ園から公共用水域に環境基準(硝酸性窒素および亜硝酸性窒素含量10 mg/リットル)を超えて溶脱していることが指摘されている<sup>13)</sup>ことから、溶脱の少ない施肥管理法、すなわち吸収効率が良く少量施用で栽培が可能な技術開発が求められている。マルチ・ドリップ方式では基本的には一年中地表面をマルチで被覆しかん水施肥を行う。したがって、窒素肥料の雨による溶脱がほとんどなく、また雑草による収奪などもないために、現在のミカン栽培基準窒素量よりも約35~55%の削減が可能である(露地栽培早生温州ミカン平均施肥窒素量は22 kg/10a・年、マルチ・ドリップ方式では約12~15 kg/10a・年)<sup>9)</sup>。

さらに、ドリップかん水施肥によって少量ずつ肥料が供給されるため根による吸収効率も高い。ドリップかん水施肥による供給水の利用率を調べたところ、75~90%と高く、したがって窒素を始め大部分の肥料成分も吸収利用され、地下への溶脱量はほとんどないと考えられ

る。それに対して、通常の露地栽培の固形肥料施肥では降雨量に大きく左右されるが、施肥の利用効率は58~65%と低く、溶脱割合は施用化学肥料の約40%(22 kg施用で8.8 kg)と試算され、マルチ・ドリップ方式での溶脱量は慣行栽培の10%以下であると推察される<sup>9)</sup>。

## 6. 関連技術の開発と栽培データの集積

マルチ・ドリップ方式を多様なしかも異なる条件の生産現場で導入、利用できる汎用性の高い技術とするために、マルチ・ドリップ方式による栽培や環境との関連の、いわゆるソフト面での知見やデータの集積を進めた。すなわち、本方式は従来の栽培法と異なるために、果実品質や生産性、樹勢への影響、細根の分布や動態、土壌の環境や理化学性、肥料や水の利用率、年間のかん水・施肥基準、システムの維持管理法などを明らかにし、提示してきた。

一方、マルチ・ドリップ方式の普及性や普遍性をたかめるためのハード面の整備も進め、体系化とシステム化を進めた。こうした技術や知見を併せて活用することにより、体系的システムとして技術の効果の確実性や汎用性、普及性を向上させることができると考えられる。主な例として以下のものを紹介する。

### (1) 水理設計支援システム

マルチ・ドリップ方式の導入に際しては、水理設計は適切なかん水量を確保するための資材や機材の選定および配管の設計など、施設の適切な水理設計が前提となる。

水理設計に関係する園地条件は、個々の園地によって極めて多様であり、たとえば、設計に際して水源の能力、すなわち、どれだけの圧力でどれだけの量の水を送り出せるかという情報が必要であるが、水源の能力はその形態によって大きく異なる。マルチ・ドリップ方式を導入する場合に確保できる水源は、様々なものが想定される。また、園地によって面積、地形、樹数、または樹齢なども大きく異なる。水理設計は、このような多様な園地条件に対応して適切に行う必要がある。

適切な水理設計を行うためには、設計案を仮定して計算を行い、その結果から改良した設計案を定めて再び計算するという、試行の繰り返しが必要である。ある設計案の改良案を考える場合、費用や利便性を考慮すると、ほとんどの場合に複数の選択肢が存在する。そのため、設計において多数回の試行が必要となり、多くの計算が必要となる場合が多い。そこで、このような作業を支援するための「施設設計支援システム」を開発した<sup>9,12)</sup>。本システムでは、設計に必要な計算を簡単な手順で行うことができ、設計案の決定に重要な必要資材量や費用に関する情報の概算値を算出することができる。本システムを利用して設計を行う場合、必要な情報をシステムに入力し、システムが処理後出力する情報によって設計案の適不適を判断し、さらに必要に応じて改良案を

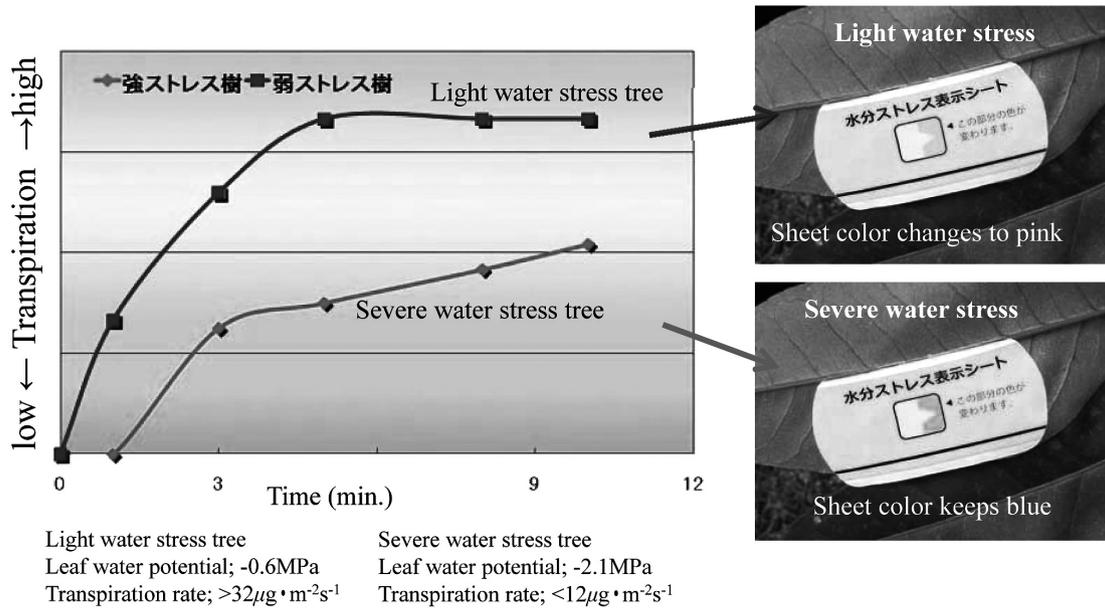


Fig. 6 Water stress indicator sheet affixed on abaxial side of leaf changes color depending on the water status of citrus trees, for quick check.

The indicator is based on the fact that Cobalt (II) chloride changes its color by hydration reaction.

入力する作業を繰り返すことにより、経費の概算も考慮した適切な設計案を選択することができる。

(2) 水分ストレス表示シート

適正な水分ストレスを付与し、樹体の水分制御を行う場合には水分状態がどのくらいであるかを把握する必要があるが、生理機能研究で利用するプレッシャーチャンバーなどの機器は生産現場では利用することができない。また土壌水分では果樹のような根域が広い場合には条件の多様な栽培圃地では普遍性に乏しいと考えられる。したがって、水分状態を生産者が色彩の変化によって視覚的に簡易に認識できる「水分ストレス表示シート」を共同開発<sup>1)</sup>して特許を取得(特許第4817176号)し、2011年より販売されている。これは密封された表示シートを使用時に取り出して葉の裏側に張り付け、蒸散によって出てくる水分によって色彩が青からピンクに変化することを利用したものである。一定時間経過後に色が変わらない場合には水分ストレスがかなりかかっており、かん水が必要と判断できる (Fig. 6)。

(3) 栽培樹の根の分布と活性

マルチ・ドリップ方式で栽培された温州ミカンでは、ドリップ孔下に白色の細根が密集形成していることが観察されている。永年生作物である温州ミカンにおいては、新しい根ほど白色を呈しており、ドリップ孔下においては、新根の形成が盛んであることが推察された。また、ドリップ孔下における細根の径別根長割合は、慣行栽培樹およびマルチ・ドリップ方式による栽培樹のドリップ

孔から離れた位置の採取細根と比較してより細い細根の割合が多いことが明らかとなった<sup>9)</sup>。これらの根形態については、60%-N区(年間窒素12 kg/10 a)および100%-N区(慣行施用量年間20 kg/10 a)ともほぼ同様の結果が得られた。

温州ミカンのマルチ・ドリップ栽培においては、養液土耕栽培の長所である少量、多回数でのかん水施肥を行うことが可能で、それを透湿性マルチ下で行うことでドリップ孔下における根域の環境を養水分の面で常に最適に保つことが出来ると考えられる。さらに、限定された範囲内でドリップかん水施肥と根による養水分吸収を繰り返すことにより、ドリップ孔下の根域における空気交換も頻繁に起こるようになり、結果として土壌物理性の改善と最適養水分管理を両立させているものと考えられる。

このような根域環境における根の呼吸活性は Table 1 に示したとおり、慣行栽培の根と比較して、9月の水切り期、および秋肥施用時期ともに有意に高い値であった<sup>2)</sup>。この理由として、前記のように根域環境の変化の結果であるとともに、ドリップ孔直下の根はより細い細根となったため、単位重量当たりの細根長および表面積が増加し、養水分吸収能力が向上したためであると考えられる。60%-N区および100%-N区におけるドリップ孔直下の根の呼吸活性が慣行栽培のものと比較して優れている結果は根の形態調査と同様の傾向であるが、根の呼吸活性はマルチ・ドリップ栽培樹におけるドリップ孔か

Table 1 Effect of drip irrigation and liquid fertilization methods combined with year-round plastic mulching system (DLYS) on respiration rate of satsuma mandarin fine root.

	Respiration rate of fine root ( $\mu\text{mol O}_2/\text{g DW}/\text{h}$ )	
	August	September
Root below drip orifice (12kg N/10a/Year)	30.7 $\pm$ 2.5	31.5 $\pm$ 4.6
Root away from drip orifice (12kg N/10a/Year)	25.1 $\pm$ 4.2	26.6 $\pm$ 3.0
Root below drip orifice (20kg N/10a/Year)	28.4 $\pm$ 1.3	28.4 $\pm$ 3.4
Control (No DLYS cultivation, 20kg N/10a/Year)	17.3 $\pm$ 0.7	17.2 $\pm$ 4.8

N = 4, Average  $\pm$  SD

ら離れた位置においても、慣行区よりも高い結果となった。これは、ドリップ孔から離れた位置の根は、養水分の直接的な供給が無いため、形態は慣行区と同様であるが、ドリップ孔直下の根が全根量をまかなうに十分な養水分を吸収しドリップ孔から離れた根へも供給していること、透湿性マルチ下では地温の上昇が抑制されるため夏季の高温ストレスが回避される<sup>10)</sup>等の理由によるものと考えられる。これらにより、慣行栽培と比較して根の形態や呼吸活性の点で優れていることは、温州ミカンのマルチ・ドリップ方式で長期的な樹勢維持、安定的な果実生産が可能な栽培法であることを示している。

## 7. 普及の現状と課題

これまで全国の多くのカンキツ生産地で普及を進め、技術普及のために生産者や普及担当者向けに、「技術マニュアル」<sup>6)</sup>および「技術解説書」<sup>9)</sup>を著して積極的に普及、指導に当たり、同時に各地の生産現場での技術講習や技術研究会を開催するなど、日常的に技術の普及を行ってきた。生産現場からの参加を得て行う技術講習や研究会は多様な条件の園地で技術の普遍性を高めるために、あるいは技術の限界を見極めるためにきわめて重要なものと位置付けて意見交換を行ってきた。

普及に際しては、本技術は省力的にかん水施肥を行える点を特徴としているが、生産者が何もせず自動的に高品質果実を生産できる技術ではなく、あくまでも生産者がそれぞれの園地の品種や樹齢、土壌、その年の気象条件などに応じて適切なかん水施肥管理を行う場合の「生産者の支援をする技術」であること、また、特に傾斜地で雨の多い季節にはマルチの表面流去水の充分な排水対策が前提での技術であること、など技術の位置づけや導入の前提を明確にしておくことが重要と考えられる。

### (1) 技術普及の現状と普及連絡会の設置

これまでの実際の導入実績の園地においてその後の技術の効果を検証した結果、導入に適した園地と不適な園地の整理がされ、どのような園地でも必ず効果が出ると

は限らないことは留意しておく必要がある。特に園地の地下水があつて、かん水を行わなくても根が地下水を吸水しているような条件の園地では導入は困難といえる。したがって、事前にこれまでの樹体反応や土壌の条件を参考にする必要はある。

マルチ・ドリップ方式は2005～2006年のカンキツ生産府県の導入調査<sup>3)</sup>では全国でおよそ300 haの面積であったが、その後の聞き取り調査などから現在では、約400 ha以上に普及していると考えられる。

前述した品質の向上と安定化、機能性成分の増加などからマルチ・ドリップ方式で栽培した果実は通常栽培の果実と差別化した販売を行うことによって収益性の向上が期待できることから、これまで、販売面にも工夫を行うことで、付加価値をつけ産地を活性化させた事例が見られている<sup>9)</sup>。

また、2012年には「マルチ・ドリップ(マルドリ)方式」普及連絡会」を著者らを含めて設立した。会員になることで最新情報の入手やマルチ・ドリップ方式の導入や技術についての疑問、問題点などの相談、意見交換をすることが可能となり、会員の活発な情報交換も行われている(事務局：農研機構近中四農研センター、<http://marudori.ac.affrc.go.jp/>)。

### (2) 技術改善の課題 — 精密管理をめざして

今後の課題として、まず園地内品質のばらつきの軽減があげられる。現在のマルチ・ドリップかん水技術では定期的にかん水、施肥を園地あるいはブロック単位の全樹体に対して同量施用するシステムである。しかし、園地内の個々の樹体はできるだけ均一な管理を試みても地下水の分布などにより、生育、果実品質が異なる実態がみられている。これからの課題としては、こうした園地内でのばらつきを極力軽減し、品質の均一性を実現するため樹体の条件に応じたかん水施肥管理が可能な精密管理が必要と考えられる。

このためには、水分ストレス等の生体情報のかん水制御への利用が今後の課題といえる。園地内での品質のば

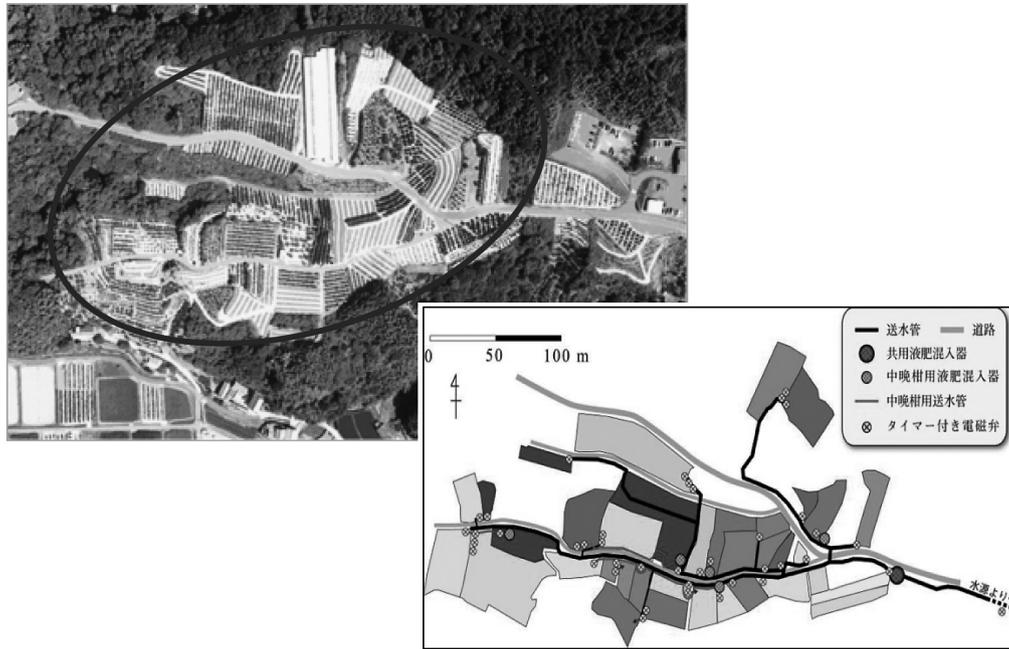


Fig. 7 Mass management shared use of liquid fertilization system combined with plastic mulching of citrus orchards. The aerial photograph is mass management citrus orchards (above), and the orchard map (below).

らつきに樹体条件と園地条件のいずれがより果実品質に影響していても、樹体の水分状態にリアルタイムに対応してかん水の量や時間を制御できるシステムが必要である。こうしたシステムは品質制御だけでなく過度のストレスを避け、樹勢を維持し連年安定生産を図る栽培を行うためにも重要な技術であり、生産現場からのニーズも高い。

水分ストレスなどの生体情報を的確に反映し、園地のブロック単位、理想的には個別の樹単位での水分状態に自動的に反応してかん水し、果実品質の不均一性を軽減させて、品質制御のできる「樹体個別管理かん水システム」、果樹での精密管理ができる新しいシステムの開発研究が必要と考えられる。こうしたシステムを確立するために、具体的には樹体の水分状態の的確な自動把握法と新しいかん水制御装置の開発が必要であるが、実際の利用技術とするためには、コスト面でも少なくとも現在のマルチ・ドリップ方式と同程度の費用で生産農家が実際に導入できるような技術であることが重要といえる。

#### おわりに 技術利用の展開方向

これからのカンキツ経営においては、産地としての規模や生産量、品質の維持を考えると、水田作で行われているような集落営農によって、基盤整備、大幅なコスト低減、省力化、作業の効率化などを進めていく必要があると考えられる。カンキツにおいても生産団地でマルチ・ドリップ方式を中核技術として集団営農に活用する

「団地型マルチ・ドリップ（団地マルドリ）」の取り組み事例がみられている（Fig. 7）。この事例では一定規模のカンキツ生産団地（香川県観音寺市）で、大型液肥供給装置を共同利用すること、団地内の各園地がローテーションでかん水施肥を行うこと、共同利用施設などの費用を公平に負担すること、などの取り決めのもとで技術リーダーを中心にした共同利用制度を構築し、運営されている。こうしたマルチ・ドリップ方式の共同利用においては個人負担のかん水施肥関連装置費用が約半分ですむことが示されている。さらに、こうした集団営農によって、地域の廃園の防止や共同で管理することによる安心感、リーダーによる技術指導と通じた地区全体のレベルアップなどの効果も期待されている<sup>11)</sup>。今後の産地展開を担う技術としての役割は大きいといえる。

#### 引用文献

- 1) 星 典宏・森永邦久・横井秀輔・浜出絵里子・草場新之助・島崎昌彦：ウンシュウミカン樹における水分状態の簡易把握のための“水分ストレス表示シート”の開発。園芸学研究 6, 541-546 (2007)
- 2) 草場新之助・森永邦久・島崎昌彦・星 典宏・村松 昇：周年マルチ点滴灌水同時施肥法で栽培されたウンシュウミカンにおける細根の割合と呼吸活性。根の研究. 13, 111-115 (2004)
- 3) 草場新之助・森永邦久・星 典宏・島崎昌彦：カンキツ等におけるマルチ及び点滴かん水施肥法の導入の現状と課題～カンキツ産地における高品質果実生産に関する調査報告～。農研機構近中四農研研究資料 4, 1-20 (2007)

- 4) 間苧谷徹・町田 裕：夏季におけるウンシュウミカン樹の水管理の指標としての葉の水ポテンシャル. 園学雑49, 41-48 (1980)
- 5) 森永邦久：カンキツの光合成と果実生産に関する研究. 農水省四国農試報告. 57 (1983)
- 6) 森永邦久・中尾誠司・吉川弘恭・村松 昇・島崎昌彦・草場新之助：農研機構近中四農研センター編. 周年マルチ点滴灌水同時施肥法（マルドリ方式）技術マニュアル（2003）
- 7) 森永邦久・吉川弘恭・中尾誠司・村松 昇・長谷川美典：露地栽培ウンシュウミカンにおける周年マルチ点滴かん水同時施肥法の開発. 園芸学研究. 3(1)：45-49 (2004)
- 8) 森永邦久・吉川弘恭・中尾誠司・関野幸二・村松 昇・長谷川美典：露地栽培ウンシュウミカンにおける周年マルチ点滴かん水同時施肥法の効果. 園芸学研究. 3(1)：33-37 (2004)
- 9) 森永邦久・島崎昌彦・草場新之助・星 典宏：カンキツ生産の新しい技術 マルドリ方式 — その技術と利用 —, 近畿中国四国農業研究叢書 第1号 農研機構近中四農研刊 (2005)
- 10) 農林水産省構造改善局編：土地改良事業計画指針 マイクロかんがい. p 60. 農業土木学会, 東京. (1994)
- 11) 齊藤仁蔵・島崎昌彦・星 典宏・根角博久：団地型マルドリ方式導入の手引き. 農研機構近中四農研刊 (2012)
- 12) 島崎昌彦・森永邦久・草場新之助・星 典宏：カンキツ園における、「マルドリ方式」設計支援システム. 園学雑. 74(別冊1) (2005)
- 13) 梅宮善章：果樹園の施肥に由来する窒素負荷の現状. 園学研. 3(2). 127-132 (2004)
- 14) Yakushiji, H., K. Morinaga and H. Nonami : Sugar accumulation and partitioning in satsuma mandarin tree tissues and fruit in responses to drought stress. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 123(4) : 719-726 (1998)