

特集号：IPM—技術開発と普及の課題

## カンキツのIPM

—近年の進歩と今後の課題—

静岡県東部農林事務所 <sup>つち</sup>土 <sup>や</sup>屋 <sup>まさ</sup>雅 <sup>とし</sup>利

## はじめに

静岡県では、2000年度から03年度まで独立行政法人農業技術研究機構果樹研究所の委託を受けて、持続的農業推進のための革新的技術開発に関する総合研究「環境負荷低減のための病害虫群高度管理技術の開発」を進めてきた。この研究の結果、カンキツの主要害虫であるミカンハダニ *Panonychus citri* の密度抑制手段として土着天敵の実用性が明らかになった。さらに県の単独研究により、ミカンハダニの被害葉（成葉）であっても光合成速度が低下していないことが明らかになった。現在、これらの研究成果に基づく新たな減農薬防除体系が、研究拠点となった県西部地区の約1,500 haに普及・定着するまでに至っている。本稿では、これまでの研究の経緯、近年の研究成果および普及要因などについて述べ、参考に供したい。

## I 防除の必要性和土着天敵利用研究の経緯

露地栽培のウンシュウミカン *Citrus unshiu* 園では、ミカンハダニが夏季と秋季に発生し、夏季には主に葉を、秋季には葉と果実を加害する（古橋，1996）。本種は、葉や果実を口針で刺して内容物を吸い取るため、加害された部分は、表皮下にできた微細な空洞により白っぽく「カスリ状」に見えるようになる。2000年度の静岡県ウンシュウミカン防除暦モデルによると、ミカンハダニの防除回数は年間6回で、ウンシュウミカンの病害虫のうちでは最も多い。このうち2回が夏季（6月と7月）に配置され、その防除方法はすべて化学農薬によるものである。ミカンハダニの防除の必要性（寄生による悪影響と要防除水準）に関するこれまで研究によると、①人工気象器（25℃、湿度60%）内において鉢植えのウンシュウミカン幼木でミカンハダニを増殖させながら、被害

葉30枚を定期的にリーフパンチで打ち抜いて葉緑素量の変化を調べた結果、加害を受けると葉緑素量が減少すること（田中・井上，1964）、②夏季にミカンハダニによる葉の被害程度が高いと翌春の落葉が増加すること（関・松尾，1977）、③ウンシュウミカンの幼木で葉が被害指数60（森，1964）以上に加害されると、翌春の落葉が増加すること（森・武智，1977）が報告されている。さらに、葉の被害を被害指数60前後に抑えるには、樹における寄生密度が1葉当たり雌成虫3.4～3.7頭で防除する必要があること（森，1974）、また、この状態は寄生葉率30%である（古橋，1980）ことが明らかにされ、これが要防除水準と判断された（古橋，1978；古橋，1996）。一方、ミカンハダニによる悪影響に否定的な報告もあり、①夏季（7～8月）に葉上のミカンハダニ数が多いほど果実の全糖含量および糖度が増加すること（内田ら，1966）、②夏季（8～9月）に葉へのミカンハダニの加害が多い年には、果実の糖度が高くなること（松尾・関，1969）が報告されている。当時は葉の光合成測定機器の不足もあり、ミカンハダニの防除の必要性については相互に矛盾する可能性のある研究成果群を視野に入れつつ、カンキツ生産者が容易に確認できる葉のカスリ状の被害を指標として、被害指数60にとどめる程度の防除が指導され、実施されてきた（古橋，1978）。

一方、ミカンハダニには多くの天敵が知られ（天野，1996）、これまでも防除における土着天敵利用の可能性を探る研究が行われてきた。森（1964）は、愛媛県下のウンシュウミカンを含むカンキツ園でミカンハダニと土着天敵の関係を検討した結果、12種の天敵が発生してミカンハダニを捕食したが、天敵のみに依存した防除では十分な防除効果が得られないと結論した。また、浜村ら（1984）は、1972年から80年まで新植されたウンシュウミカン園（広島県安芸津町）でミカンハダニなどの害虫とその土着天敵の発生を調査し、ミカンハダニの天敵としてハネカクシ類、カブリダニ類等複数種の発生を確認したが、ミカンハダニの寄生密度は夏から秋にかけ

Recent Advances of the Integrated Pest Management on Citrus.  
By Masatoshi TSUCHIYA

（キーワード：IPM、カンキツ、ミカンハダニ）

て十分に低下しないために化学農薬による防除が必要と結論した。これらの研究で土着天敵が十分機能しなかった背景には、カンキツで防除対象となる害虫種の現在との違いがある。森 (1964) によると、当時はヤノネカイガラムシ *Unaspis yanonensis* などのカイガラムシ類が重要な害虫であり、夏季にはこの防除のために土着天敵に毒性の強い化学農薬の使用が避けられなかった。森 (1964) は、このために夏季の土着天敵の利用が困難と考察している。しかしその後、1978年に日中平和条約が締結されると、80年にヤノネカイガラムシの寄生蜂2種が中国から導入され、83年から農林水産省の支援で全国に普及が進められた。その結果、1989年には静岡県内全域でこれらの定着が確認され(古橋・西野, 1994)、主にヤノネカイガラムシを対象とした夏季の防除は不要になった。しかし当時、ミカン園で土着天敵が活動するには、もう一つの障害があった。それは、夏季のチャノキイロアザミウマ *Scirtothrips dorsalis* を防除するため、残効性の高い化学農薬が不可欠であったことである。チャノキイロアザミウマは、5月から10月まで8世代発生し、6月以降の7世代の加害を防ぐ必要がある。地域内のチャ *Camellia sinensis* やイヌマキ *Podocarpus macrophyllus* などから分散してミカン園内に突発するが、虫が微小で生産者の発見が遅れやすいため、残効性の高い化学農薬が求められた。当時は合成ピレスロイド剤の効果が特に高く、広く利用されたが、土着天敵には悪影響があった。その後、1992年にクロロニコチニル系農薬がチャノキイロアザミウマに登録になると、これが合成ピレスロイド剤と置き換わり、土着天敵への悪影響が減少した。こうした変遷を経て、ミカン園における夏季の土着天敵利用の環境は、1960年代とは大きく変化してきた。

ミカンハダニの防除については、本来のミカンハダニ防除のありかたを見直すことが課題として残されてきた。近年、夏季に使用される化学農薬の進歩に加えて、葉を切り取らず葉の光合成測定ができる機器が利用可能になる一方で、1999年以来、食料・農業・農村基本法、持続性の高い農業生産方式の導入の促進に関する法律など、持続的農業を推進する法律が施行され、カンキツの総合防除の研究環境が整備された。

## II IPM を発展させた研究成果

夏季におけるミカンハダニの防除手段を、これまでの

化学農薬から土着天敵に切り替えた新体系が県西部に広く普及・定着したことが近年の成果である。ここでは、この実績を生み出した二つの研究成果について解説する。一つは「土着天敵による夏季のミカンハダニ防除技術の開発」、もう一つは「ミカンハダニ被害葉の光合成速度の解明」である。

### 1 土着天敵による夏季のミカンハダニ防除技術の開発

この研究は、慣行的に防除暦により複数種の病虫害防除を並行して行うウンシュウミカン園で、ミカンハダニ以外を対象として散布される化学農薬が、ミカンハダニの土着天敵の活動を妨害するかどうか、また、ミカンハダニ防除を土着天敵に任せただけの場合に生産される果実の品質や葉の被害が、生産者の実用評価に耐えうるものであるかどうかを解明したものである。

静岡県引佐郡三ヶ日町 (現在は浜松市三ヶ日町) にウンシュウミカン園 48 a を試験圃場として設定した。静岡県ではウンシュウミカンが全果樹面積の約 66% (6,590 ha) を占める主要果樹であり (静岡県, 2003)、三ヶ日町には県全体の約 1/4 の栽培面積があることが、この地を研究拠点に選定した理由である。三ヶ日町では、2000年度の静岡県ウンシュウミカン防除暦モデルに準じ、夏季のミカンハダニの防除時期は6月と7月になっていた。試験圃場をおおむね3等分し、夏季に2回、慣行どおりに実施する区、6月だけ実施する区、2回とも実施しない区を割り当てた。各区には着果程度のそろった調査樹を各3樹選定して、樹内中央に黄色粘着トラップを1基ずつ設置し、土着天敵の発生とミカンハダニの葉上寄生数の変化を定期的に調査した。さらに、各区における葉の被害指数 (森, 1964) および果実の品質も併せて調査した。チャノキイロアザミウマ、黒点病 *Diaporthe citri* などのミカンハダニ以外の防除はすべて慣行どおり実施した。

この結果、①ミカンハダニは、各区のダニ剤散布回数異なるにもかかわらず、6月から増加し始め、7月をピークとして寄生数が減少に転じ、8月には寄生が少なくなること、②葉の被害指数は2回とも防除しない区が他の2区に比べて高くなること、③果実の品質には区による差がないこと、④複数種の土着天敵の発生が確認され、最初は発生種数が少ないが、ミカンハダニの発生が多くなると発生種数が増加していき、ミカンハダニが減少するにつれて発生種数が減少すること、そして、⑤カ

ブリダニ類、ケボソナガヒシダニ (*Agistemus terminalis*), ヤマトクサカゲロウ (*Chrysoperla carnea*), ヒメハダニカブリケシハネカクシ (*Oligota kashmirica benefica*), ハダニアザミウマ (*Scolothrips takahashii*), キアシクロヒメテントウ (*Stethorus japonicus*) が発生することがそれぞれ明らかになった (土屋, 2005)。この研究により, 夏季の土着天敵によるミカンハダニ防除の実用性が示された。

## 2 ミカンハダニ被害葉の光合成速度の解明

この研究は, ミカンハダニにより葉が吸汁されて白っぽくなった状態で光合成に対してどの程度の悪影響があるのかを解明したものである。

2001 年度に, 前述のウンシュウミカン園の各区内に着果のそろった調査樹を 3 樹ずつ選定し, 各樹外周部の中段に着生する当年葉 10 葉 (すべて成葉) に番号を付け, これら 90 葉について寄生するミカンハダニを葉ごとに雌成虫とその他 (若虫, 幼虫および雄成虫) に分けて定期的に計数し, 調査葉ごとに MITE-DAYS (寄生数と寄生日数の積算値) を算出した。7 月 17 日, 8 月 8 日および 9 月 12 日の午前中に, 各調査葉の中脈横中央部の葉緑素値を葉緑素計 (ミノルタ製, SPAD-502) により測定し, さらに, 同一部位の光合成速度を携帯型光合成蒸散測定システム (小糸工業 (株) 製, CIRAS-1) により測定した。葉ごとの MITE-DAYS と葉緑素値, 光合成速度との相関関係 ( $n = 90$ ) を調査した結果, 7 月には MITE-DAYS と葉緑素値または光合成速度との間に負の相関はなく, 8 月には MITE-DAYS と葉緑素値との間に負の相関があったのに MITE-DAYS と光合成速度との間に負の相関はなく, 9 月には MITE-DAYS と葉緑素値との間に (8 月に見られた) 負の相関はなく, MITE-DAYS と光合成速度との間には正の相関が得られた。つまり, ① 8 月には葉緑素値が低下するが光合成速度は低下せず, ② 9 月には, 8 月に認められた葉緑素値の低下が解消し, 光合成速度は MITE-DAYS が高いほど高くなった (土屋, 2003)。ALBRIGO et al. (1981) によると, ネーブルオレンジ *Citrus sinensis* var. *brasiliensis* の葉内のミカンハダニの吸汁によって作られた細胞間の空洞が, 加害から 8 週間後には細胞分裂によって消失する。さらに田中・井上 (1964) は, ミカンハダニの加害を受けたウンシュウミカンの葉組織では, 29 日後には細胞膜が大部分形成され, 63 日後には表皮以外が回復して葉緑素粒が増加していることを観察している。

したがって, 夏季にミカンハダニの加害で葉緑素値が一時低下しても, 土着天敵の働きで自然にハダニの寄生密度が低下する 8 月から 9 月にかけてミカン葉が回復することがうかがえる。ALBRIGO et al. (1981) によるとミカンハダニによって吸汁されるのは, 約 20 層の細胞層をもつネーブルオレンジ葉の表面から 2 層目の細胞であることから, 8 月にミカンハダニの吸汁により葉緑素値が低下して白く見えるようになった葉でも, 計測してみると光合成速度が低下していないのは加害を受けなかった多くの細胞層が働いているためとみられる。この研究により, ミカンハダニの被害は光合成速度の低下に必ずしも結びつかないことが明らかになった。

これまで, ミカンハダニの加害による葉緑素含量の低下や見た目の葉の白っぽさは, 生産者に光合成速度の低下を連想させてきた。しかし, この研究のほかに, ウンシュウミカンと同じく  $C_3$  植物 (光合成反応によって最初に作られる有機物が 3-ホスホグリセリン酸である植物) であるイネ *Oryza sativa* の場合, 光合成速度は葉の全窒素量や可溶性タンパク量との相関関係は高いが, 葉緑素含量との相関関係は低いこと (折谷ら, 1979) や, 葉の一生を通しての光合成速度の変動については, 可溶性タンパク量の変動との相似性は高いが葉緑素含量の変動との相似性が低い (前, 1990; MAKINO et al., 1983) ことから, 葉緑素含量の低下が光合成速度の低下に単純に直結しないことは明らかである。

## III IPM の普及・定着に向けたリスクマネジメント

研究主体から見て説得に足ると思われる研究成果であっても, 現に問題なく経済活動を進めている生産現場のシステムの一部を変えるには, 新技術の受入れ側 (生産者) のリスクを解消する必要がある。研究の着手時における生産者側のリスクを列挙すると次のとおりである。

- ① 土着天敵がいないのではないか。
- ② 土着天敵だけではハダニが確実に減らないのではないか。
- ③ ハダニの多発で葉が白くなるが, 光合成能力が落ちるのではないのか。
- ④ 果実の品質に問題があるのではないか。
- ⑤ 経営的にメリットがないのではないか。
- ⑥ 生産者が実施困難な新技術なのではないか。

これらへの対応策として, 実際に産地の指導者や生産

者に実感してもらえらるる研究運営が必要と考えた。そこで、次の5項目を実施した。

#### (1) 研究計画段階から関係機関・生産者と連携

研究計画を研究機関が一方向的に提案し、関係機関・生産者の協力を要請するのではなく、産地における技術的課題を共有しつつ実施計画を練り上げていくことにより、実効性の高い計画にする。

#### (2) 研究実施過程で生産者などの観察を重視

研究拠点が研究主体の所在地から遠いため、観察機会の不足から、得られたデータの判断に誤りが生じる可能性があるため、研究の推進過程で園主や関係機関、産地の生産者の観察を重視する。

#### (3) 研究拠点を産地内の目立つ位置に設置

研究に興味をもった生産者に自由に観察する機会を与え、技術普及を効果的に進める。

#### (4) 報道機関との連携

関係機関および研究拠点における活動内容を、地元新聞などに取り上げられるよう工夫し、地域住民の関心を得る機会を作る。

#### (5) 技術を導入した生産者に確実な利益が発生

いくら学術的に重要であっても、生産者に確実な利益が生じない技術では実用に供する価値がないことに留意し、生産者や関係機関と情報交換を十分に行う。

研究当初のリスク分析は、生産者が実施困難な技術を生む可能性のある研究項目を排除し、的確な研究項目の選択を可能にした。そして、研究から得られた有益情報は確実な普及・定着に帰結したと評価できる。

## IV 今後の課題

最後に、カンキツの総合防除を今後さらに発展させるために必要と考えられる研究課題について述べて、まとめたい。

### 1 土着天敵の種構成と植物相との関係

産地に発生する土着天敵の種構成は、産地ごとに異なる可能性がある。天敵が土着であるためには、地域内の複数の植物上に発生するハダニ類などを餌として増殖し密度を維持しているはずである。経度・緯度の違いや標高の違いにより植物の種構成は異なる。そこで、産地を含む地域の植物相と土着天敵の種構成との関連を解明す

ることにより、その植物相固有の天敵発生パターンが得られる可能性がある。また、混住化の進んだ農業地帯のように、地域全体に占める農地の割合が低い地域に属す産地を想定すると、植物は自然環境のほかには人為的に作られる公園、街路樹、居住区域の庭園等いろいろなところにあるので、土着天敵の恩恵を、農業生産にかかわる区域と居住区域とで共有できる植物配置技術の開発も必要である。

### 2 光合成速度に基づく被害許容水準

細胞層が多く厚い葉では、口針の短い害虫の吸汁加害を受けてもミカンハダニの場合のように葉の光合成速度が維持される可能性がある。果実生産が目的であるので、加害を受けた葉が生育過程に変形しても、成葉になった段階で光合成速度が維持されるなら被害と言えないのかもしれない。また、結果枝1枝には複数の葉が着いているので、一部の葉が欠けたり面積が減少したりしても、枝単位で見ると光合成速度が低下しないような補償機能がある可能性がある。葉を加害する害虫の場合、光合成速度への影響を踏まえて許容できる被害水準を見直す必要があり、そこから新たな技術開発への糸口が得られる可能性がある。

## 引用文献

- 1) ALBRIGO, L. G. et al. (1981): Proc. Int. Soc. Citriculture : 649 ~ 652.
- 2) 天野 洋 (1996): 植物ダニ学 (江原昭三・真梶徳純編), 全国農村教育協会, 東京, p. 159 ~ 174.
- 3) 古橋嘉一 (1978): 植物防疫 32: 335 ~ 340.
- 4) ——— (1980): 静岡柑試特報 4: 1 ~ 56.
- 5) ——— (1996): 植物ダニ学 (江原昭三・真梶徳純編), 全国農村教育協会, 東京, p. 174 ~ 186.
- 6) ———・西野 操 (1994): 静岡柑試特報 6: 1 ~ 65.
- 7) 浜村徹三ら (1984): 果樹試報 E5: 77 ~ 106.
- 8) 前 忠彦 (1990): 稲学大成第2巻生理編 (松尾孝嶺編), 農山漁村文化協会, 東京, p. 456 ~ 468.
- 9) MAKINO, A. et al. (1983): Plant Physiol. 73: 1002 ~ 1007.
- 10) 松尾喜行・関 道生 (1969): 佐賀果試研報 5: 59 ~ 64.
- 11) 森 介計 (1964): 愛媛果試研報 4: 43 ~ 55.
- 12) ——— (1974): 植物防疫 28: 110 ~ 112.
- 13) ———・武智文彦 (1977): 農作物有害動物予察特別報告 29: 48 ~ 52.
- 14) 折谷隆志ら (1979): 日作紀 48(1): 10 ~ 16.
- 15) 関 道生・松尾喜行 (1977): 農作物有害動物予察特別報告 29: 53 ~ 55.
- 16) 静岡県 (2003): 平成15年度静岡県の農林水産業 (静岡県農業水産部企画調整室・環境森林部森林計画室編), 静岡県, 静岡, p. 185.
- 17) 田中 学・井上晃一 (1964): 九農研 26: 143 ~ 144.
- 18) 土屋雅利 (2003): 静岡柑試研報 32: 15 ~ 21.
- 19) ——— (2005): 同上 34: 15 ~ 27.
- 20) 内田正人ら (1966): 神奈川園試研報 14: 17 ~ 24.