

第 67 回大会講演要旨（令和 4 年 11 月 16 日～17 日）

【特別講演】

愛媛県内のカンキツで確認されるウイルス病害とその拡散防止について

清水伸一

（愛媛県農林水産研究所）

キーワード：カンキツウイルス、ウイロイド類、母樹検定、健全種苗供給

はじめに

愛媛県では水はけのよい急傾斜な農地を利用したカンキツ栽培が盛んであるが、そのカンキツにおいて、これまで新品種導入に合わせてウイルス性の病害の蔓延が幾度か繰り返されてきた。果樹の場合、一度、樹体に感染したウイルスは取り除くことがほぼ不可能であり、このため発病すると栽培への影響が長期化することとなる。本稿では、これまで愛媛県内で問題となっていたウイルス性病害について紹介する。

1. ステムピットイングとかいよう虎斑病

いずれもカンキツトリステザウイルス（*Citrus tristeza virus*, CTV）により引き起こされ、アブラムシや接木によって伝染される。ステムピットイング病の発病樹では枝の木質部に褐色の細い溝や筋が発生し、樹の養分移行が阻害されて樹勢が衰え、果実も小玉化する。過去の調査ではハッサク、ネーブル、ユズなどで被害が大きいことが確認されているが、栽培面積の減少であまり気にされなくなってきた。しかし、CTV に対してはオレンジ類も弱く、それを交配親として育種された品種（たとえば清見）で多数のピットイング症状や小玉果がみられ、このような新品種では CTV の被害発生を念頭に置いておく必要があると考えられる。また伊予柑やユズでは CTV による樹勢衰弱や果実の小玉化に加え、果実の表面に黄色から褐色の斑点を生じるかいよう虎斑病が発生し、現在においても激発園では商品性の低下が問題となっている。

対策として、CTV には病原力の弱い弱毒系統が多数存在し、あらかじめ弱毒系統に感染させた苗木は病原力の強い強毒系統に感染しにくいことから、これを利用したステムピットイングやかいよう虎斑病の被害軽減策が実用化され、一部の品種では弱毒系統を接種した苗木が販売されている。

一般に知られているものでは不知火があるが、ステムピットイングやかいよう虎斑病以外のウイルス病（例えば温州萎縮病など）に対しては効果がなく、弱毒系統による被害軽減効果を長期的に維持するために、媒介虫となるアブラムシ類の防除を行うことも重要となっている。

2. 温州萎縮とカンキツモザイク病

温州萎縮およびカンキツモザイク病とともに温州萎縮ウイルス（*Satsuma dwarf virus*, SDV）により引き起こされる病害で、両者の発病樹では舟型またはサジ型の奇形葉や小型葉が発生し樹全体が萎縮する。激発樹でも本ウイルスが主原因で枯死に至ることはほとんどないが、特に温州ミカンでは果実品質の著しい低下が引き起こされる。カンキツモザイク病は、前述の症状に加え果実にトラミカンと呼ばれるモザイク症状により商品性が低下する。SDV の一系統が感染した場合にのみ症状が発生するが、現在、愛媛県内では一部の中晩柑を除きほとんど確認されていない。

SDV の伝搬は接木に加え、媒介者は不明ながら土壌伝染するとされ被害が長期化するカンキツ園も確認されている。土壌伝染による再感染防止には改植時に土壌を入れ替えることが効果的とされている。

3. 接木部異常（タターリーフ）病

リンゴステムグルーピングウイルス（*Apple stem grooving virus*, ASGV）により引き起こされ、接木による伝搬のみが確認されている。ポンカンの導入初期には多くの苗木で葉の黄化やカラタチとの接木部から折れやすくなる症状が見られ、ウイルス病であることが明らかにされた。感染樹では穂木と台木の接合部分で養水分の流れが悪くなり、その結果上部の葉が黄化し枯死に至る。感染樹の特徴として、穂木が台木より肥大する台負けやカラタチとの接木部が褐色の溝のようにみえる

症状が確認されるが、ASGV はカラタチを衰弱させるため、台負け症状の程度に差はあるものの多くのカンキツ品種で発症が確認されている。

発病樹に対する対策として、ユズの根接ぎにより枯死を免れることはできるが、生産性の面からみるとあくまでも短期的な対応である。

4. エクソコーティスとその他のウイロイド病

エクソコーティス病は、ウイルスよりもさらに小さな病原体であるカンキツエクソコーティスウイロイド (*Citrus exocortis viroid*, CEVd) により引き起こされ、台木であるカラタチの樹皮が枯死して剥がれたり、亀裂が生じたりするのが特徴となっている。発病樹では生育が著しく阻害され、果実の収量や品質ともに低下し、経済的栽培が困難となるなど被害が見られる。その後、症状はエクソコーティス病と類似しているものの CEVd が確認されないカンキツ樹がしばしば見受けられてきた。研究の成果によって、その原因が CEVd 以外のウイロイド類の複数感染によることが確認された。また、不知火の導入初期に問題となった樹勢低下や減酸不良も、ウイロイド類の複合感染により引き起こされることが確認されるなど、重要な病原体として位置付けられている。これらのウイロイド類の複合感染は、高接ぎ増殖が繰り返された結果、混合感染したものと考えられており、不知火ではすべてのカンキツウイロイド類に感染していた事例も報告されている。

他のウイルス病と同様に接木が主な伝染となるが、剪定鋏やナイフの刃についたウイロイド感染樹の汁液も伝染源となる場合がある。刃についたウイロイドは塩素系漂白剤の原液に数秒間浸漬した後、水洗いすることで感染力を消失させることができる。

5. 優良な健全種苗の供給に向けての取り組み

ウイルスおよびウイロイド病は、一度感染、発病するとそのカンキツ樹が枯死するまで影響が継続されることになり、有効な治療法がない中で発病樹を改植することが被害軽減に有効な対策とされている。しかしながら温州ミカンでは、改植して安定した収穫量まで回復するにはかなりの年数を要するため、病原ウイルス・ウイロイド類を園内に持ち込まないことが基本となる。

生産者段階における感染経路では、品種更新時

にウイルス感染した苗木を植栽または穂木を接ぎ木して園内に持込まれる場合がほとんどで、被害を引き起こすウイルスやウイロイド類に感染していない健全な母樹を確保し、そこから苗木や穂木を増殖・供給することが必須である。

このため愛媛県では、農業団体を中心とした母樹の SDV 及び ASGV 検定を、市販の診断試薬を用いた酵素結合抗体法 (ELISA) で長年実施してきた。しかしながら、2000 年頃より愛媛県内の一部の新品種転換園で SDV による萎縮症状が確認されたものの、ELISA 診断では感染の有無を正確に判定できない事例がしばしば確認されたことから、2006 年度からすべてのウイルス検定を ELISA から RT-PCR に変更して母樹検定の判定精度を高めることとした。また変更に合わせて、SDV および ASGV に加え、7 種のウイロイド類 (CEVd, カンキツベントリーフウイロイド (*Citrus bent leaf viroid*, CBLVd), ホップ矮化ウイロイド (*Hop stunt viroid*, HSVd), カンキツ矮化ウイロイド (*Citrus dwarfing viroid*, CDVd, 旧 CVd-III), カンキツバーククラッキングウイロイド (*Citrus bark cracking viroid*, CBCVd, 旧 CVd-IV), カンキツウイロイド VI (*Citrus viroid VI*, CVd-VI, 旧 CVd-OS) および CBLVd の変異株であるカンキツウイロイド-I-LSS (*Citrus viroid I-low sequence similarity*, CVd-I-LSS) も検定対象に加えた。これにより、ELISA では調査時期が春梢伸長期に限られていたものが、年間通じて診断可能となるとともに、国内で検出されているウイロイド類の感染の有無も把握できるようになった。

おわりに

愛媛県では、現在、カンキツの新しい登録品種‘愛媛果試第 48 号 (商標：紅プリンセス)’の生産拡大が推進されており、その植え付けには被害を引き起こすウイルス、ウイロイドフリーの苗木が供給されている。また 2020 年に種苗法の改正によって登録品種の増殖は許諾に基づき行うこと等が規定され、より品質の良い種苗の流通や適正な生産管理の実効性が高まったことから、登録品種を通じたウイルスの拡散、被害の抑制につながるものと考えられる。

今後とも、次代につながる生産性の高い産地づくりを行っていくためには、商品性が高く栽培しやすい品種の導入に加え、関係者が連携して健全種苗を供給する体制構築の必要性を指摘したい。

寄生バチの多様な世界

小西和彦

(愛媛大学ミュージアム・愛媛大学農学部環境昆虫学研究室)

キーワード：内部寄生，外部寄生，殺傷寄生，飼殺し寄生

はじめに

寄生バチ，すなわち捕食寄生性ハチ類は，雌成虫がほかの昆虫に卵を産み付け，ふ化した幼虫がその昆虫を食べて成長し最終的には殺してしまうという生活をしている昆虫である。寄生バチは様々な寄主を様々な方法で利用しており，たいへん種数が多い。例えば，演者が分類学的研究を行ってきたヒメバチ科だけでも，日本で1700種以上，世界では25000種以上が知られており，実際にはこの2～3倍の種がいと推定されているほどである。

寄生バチは他の昆虫を幼虫の餌とすることから害虫の天敵として重要な種も多く含まれている。演者はこれまで，コナガ，ハモグリバエ類，ミカンキジラミ，貯穀害虫，キムネクロナガハムシの天敵寄生バチ相を調査してきた。これらの害虫にも多くの天敵寄生バチがおり，様々な方法で寄主を利用している。本講演では寄生蜂の多様化の原動力とも言える寄主利用方法の進化についてお話ししたい。

捕食寄生性の起源

最新のハチ目の科間の系統解析 (Peters et al., 2017) によると，ハチ目の共通祖先は約2億8千万年前のペルム紀に出現している。その系統樹の形から，最初のハチは植物組織内に卵を産み付け，幼虫は植食性だと考えられる。また，ヤドリキバチ科を含む寄生バチ類と有剣類は単系統群を形成し，クキバチ科と姉妹群関係になっている。クキバチ科の幼虫は植物の茎の中を穿孔し食害するので，寄生バチはそのような生活をするものから派生したことになる。このことから Handlirsch (1907) による，捕食寄生性は植物組織内を穿孔していた幼虫がたまたま他の昆虫と出会ってそれを食べてしまったことから起こったという考えは尤もらしいと言える。植食性から捕食寄生性へ変わるには，植物組織内に産卵していた雌成虫が植物組織内にいる昆虫に産卵するように変わり，その昆虫に卵が破壊されないよう産卵の際に殺すか動けなくする行動を獲得する必要がある。このようにして捕

食寄生性が派生したと考えられることから，最初の寄生バチは，植物組織内にいる昆虫に対して，産卵管を用いて植物の外から刺して殺すか麻酔するかして，その体表に卵を産み付け，ふ化した幼虫は体外から寄主昆虫を摂食するという寄主利用をしていたのだろう。このような寄生方法を外部・殺傷寄生と呼ぶ。これに対して，寄主を体内から摂食する寄生方法を内部寄生，寄生バチが産卵した後も寄主がしばらくの間通常の生活続けるものを飼殺し寄生と呼ぶ。外部寄生から内部寄生，殺傷寄生から飼殺し寄生への進化はいくつもの系統で複数回起こったと考えられる。以下で，外部－内部寄生，殺傷－飼殺し寄生という寄主利用方法の分類を組み合わせた4つの寄生方法について見ていく。

外部・殺傷寄生

前述のようにもっとも祖先的な寄生方法である。基本的には，何かに覆われた中にいる寄主に対してその外から産卵管を刺して殺すか麻酔して動けなくし，体表に産卵する。寄生バチの起源から，植物組織内にいる寄主の利用から始まったと考えられる。ハモグリバエ類に寄生するイサエアヒメコバチもそのような寄生バチの一例である。そこから繭の中にいる寄主を利用するものが派生し，さらには，クモの卵囊やクモ本体，巣の中にいる有剣ハチ類の前蛹や蛹に寄生するものまで派生して，たいへん多様化している。ただし，スケスケの繭を作るコナガなどはこのような寄生バチからの攻撃を免れているようであり，さらに，繭を作らないチョウ類に対しては外部・殺傷寄生バチの記録はたいへん少ない。また，変わったものとしては，水中にあるトビケラの巣の中にいる前蛹や蛹を攻撃するミズバチ属（ヒメバチ科）がいる。ミズバチも繭を攻撃することには違いないが，陸上の繭を利用するハチは絹糸のにおいを手掛かりに寄主探索するのに対してミズバチは視覚で寄主探索しているようである。

内部・殺傷寄生

寄主体内に産卵し、すぐに孵化した幼虫が体内から寄主を摂食する。産卵時に寄主に対して何らかの操作をしているか否かは不明。ハモグリバエ類の寄生バチの中で、しばしば優占種になる *Chrysocharis pentheus* (ヒメコバチ科) はこの寄生方法でハエの幼虫を攻撃する。ヒメバチ科では繭の中の昆虫に外部・殺傷寄生する 2 つの系統でチョウ目蛹の内部寄生への進化が起こっており、それぞれたいへん多様化している。内部寄生への移行によって、前述のコナガやチョウのようなしっかりした繭を作らないチョウ目昆虫を利用することができ、コナガチビヒメバチのように、寄主蛹の体内に産卵し、蛹から羽化脱出する、という寄生を行う。また、タマゴコバチ類やタマゴクロバチ類などの卵寄生バチもこの寄生方法に該当する。

外部・飼殺し寄生

寄主昆虫の体表に産卵し、寄主が充分成長、または、繭などの蛹化場所に入った後に、寄生バチ幼虫が摂食を始めるような寄主利用方法。卵や幼虫が普通に生活している寄主体表から落ちないようにする仕組みが必要なため、他の 3 つの方法に比べるとまれであるが、ヒメバチ科の 2 つのグループ、ヒラタヒメバチ亜科のクモヒメバチ群とハバチヒメバチ亜科がこの寄生方法で多様化している。どちらも産卵時には寄主を刺して一時的に麻酔すること、幼虫は体の一部を寄主にしっかりと固定された卵殻内に入れて寄主から落ちないようにしていることが知られている。卵殻を寄主に固定する方法は両者で異なっていて、クモヒメバチ類ではクモの体表に貼りつけられた卵内から 1 令幼虫が卵殻と寄主表皮を食い破り、寄主の血リンパを卵内まで吸い上げることでそれを行う（高須賀、

2015）。それに対してハバチヒメバチ類は卵の後端に棒状の突起を持っており、この突起を産卵時に寄主体内に刺すことで卵本体を寄主体表に固定している。ハバチヒメバチ亜科の寄主は、名前通りハバチが多いがチョウ目も多く記録されており、その多くが土中などで蛹になる。土中の寄主に寄生バチが産卵するのは困難なため、摂食中の寄主幼虫の体表に卵を貼りつけておくことで、寄主が安全な蛹化場所へ入った後に寄生バチ幼虫が摂食を開始することが可能になる。ハバチヒメバチ亜科にはヨトウガ類やタバコガ類に寄生するものが知られている。

内部・飼殺し寄生

寄主体内に産卵し、孵化した幼虫は寄主が摂食適期になるまで待ち、体内から摂食する。寄生バチの多くの系統でこの寄生方法が派生している。コナガの寄生バチの中では、コナガサムライコマユバチ（コマユバチ科）とニホンコナガヤドリチビアメバチ（ヒメバチ科）がこの方法で寄生する。また、ハモグリバエ類の寄生蜂ではハモグリコマユバチがこれに相当する。産卵する寄主のステージ→脱出するステージは寄生バチの分類群によってさまざま、卵→幼虫、卵→蛹、幼虫→幼虫、幼虫→蛹、成虫→成虫などがある。コナガサムライコマユバチとニホンコナガヤドリチビアメバチは幼虫に産卵して幼虫から寄生バチの老熟幼虫が脱出する。多くのチョウ目害虫に寄生するサムライコマユバチ類やチビアメバチ類は同様の寄生方法をとる。ハモグリコマユバチは幼虫に産卵して囲蛹から成虫が羽化脱出する。ヒメバチ科ヒメバチ亜科の種はチョウ目蛹から羽化脱出する内部寄生バチであるが、蛹に産卵する殺傷寄生の種と幼虫に産卵する飼殺し寄生の種がいる。