

BULLETIN
OF
THE HIROSHIMA PREFECTURAL TECHNOLOGY RESEARCH INSTITUTE
AGRICULTURAL TECHNOLOGY RESEARCH CENTER

MARCH 2023

広島県立総合技術研究所 農業技術センター研究報告

広島県におけるイチジク株枯病の発生パターンの把握と
それらに対応した防除技術の開発

第 96 号
令和5年3月

広島県立総合技術研究所
農業技術センター

(広島県東広島市八本松町原)

広島県におけるイチジク株枯病の発生パターンの把握と それらに対応した防除技術の開発

キーワード：アイノキクイムシ，防除技術，被害調査事例，イチジク，株枯病

森田 剛成

- 2023 -

目 次

緒 言	1
第 1 章 アイノキクイムシが関与した場合のイチジク株枯病の発生状況	
第 1 節 枯死被害発生後の被害重症化調査事例（県西部の事例）	7
第 2 節 加害初期からの追跡調査事例（県東部の事例）	10
第 2 章 アイノキクイムシが関与した場合の病徴発現の解析と防除方法の開発	
第 1 節 アイノキクイムシが関与した場合の病徴発現の解析	
株枯病菌を接種したイチジク苗木における病徴の進展過程	
（木部の通水阻害と萎凋症状の関係）	16
第 2 節 アイノキクイムシ加害防止技術の開発	27
第 3 章 土壌由来の感染に伴う病徴発現の解析と防除方法の開発	
第 1 節 株枯病発生地に定植したイチジク苗木に対する株枯病菌の初期感染時期	
の推定	35
第 2 節 土壌由来の感染に伴う病徴発現の解析	
株枯病汚染土壌へ定植した後に自然発病したイチジク「蓬菜柿」における	
外部および内部病徴の観察事例	40
第 3 節 殺菌剤土壌灌注処理による株枯病防除方法の開発	49
第 4 節 新たな抵抗性台木の抵抗性評価	52
第 4 章 総合考察	62
謝 辞	70
引用文献	72

緒 言

クワ科 (Moraceae) イチジク属 (*Ficus*) には 600 種を超える植物が含まれ、その中でイチジク種 (*Ficus carica* L.) のみが果樹として栽培されている (河瀬, 1984)。イチジクの原因はアラビア半島の南部 (Condit, 1947; Storey, 1975), あるいはトルコやイランを含む地中海沿岸部と推定されている (Khoshbakht and Hammer, 2006)。旧約聖書の創世記でアダムとイブの物語に記載される程、人類とイチジクの歴史は古く、ギリシャ・ローマ時代にはイチジクの栽培が行われていたようである。さらに近年, Kislev *et al.* (2006) により, ヨルダン渓谷に位置する約 11,200~11,400 年前の遺跡から, 貯蔵用と推察されるイチジクの乾果が発見され, 栽培の痕跡が確認された。この発見により, これまで最古の栽培作物とされてきた小麦よりも約 1,000 年遡り, 人類が栽培した最も古い作物がイチジクである可能性が示された。

現在, イチジクは世界各地で栽培され, 生産面積は約 308,000 ha, 生産量は約 1,050,000 t で, その内訳はトルコが最も多く 27 %, 次いでエジプト 15 %, アルジェリア 12 %, モロッコ 10 % などとなっている (公益財団法人中央果実協会情報部, 2018)。

元来, 我が国にイチジクは分布していなかった。我が国への導入経路については, 原産地から東進し, 中国を経て渡来したとする説と, 江戸時代初期の寛永年間 (1624~1644 年) に長崎で植えられ, 全国に広がったとする説がある (河瀬, 1984; 菊池, 1955)。最初に導入されたイチジクは「蓬萊柿」(ホウライシ) で, その後, 我が国に定着して長く栽培されたことから「在来種」もしくは「日本種」とも呼ばれる。江戸時代には紫果品, 白果品の 2 品種が栽培され, 芸州 (安芸の国の異称: 今の広島県 (以下, 本県) 西部) は特に有名な産地であったとされる。

明治から大正にかけて数品種のイチジクが主にアメリカから導入された。しかし, 導入されたイチジクが乾果として利用されるのに対して, 日本ではイチジク消費の主体が生果であること, および高温多湿な気象条件に適さないことからこれらの品種は普及しなかった。

1908 年 (明治 41 年) に本県の榊井光次郎氏がアメリカのカリフォルニア州から持ち帰った「榊井ドーフィン」(おそらく「San Piero」と同一品種であろうと考えられる (Condit, 1955)) は, 栽培が容易で高い収量性を有していた (榊井農場, 1993)。「榊井ドーフィン」の登場により, 日本でのイチジクの経済栽培が本格化し, 大正から昭和の初めにかけて急激に栽培面積が拡大した。当時の著名な栽培地として, 神奈川県川崎地方 (「蓬萊柿」と「榊井ドーフィン」の 2 品種), 愛知県海部地方 (「榊井ドーフィン」主体), 兵庫県神戸地方 (「榊井ドーフィン」主体) および本県 (「蓬萊柿」主体) が挙げられた (佐藤, 1953)。当時の本県の主要な産地は, 広島市を市場に持つ佐伯郡吉田村 (現広島市西区古江西町) および福山市の市場を対象とした深安郡川口村 (現福山市川口町) で戦前には 180 ha まで面積が拡大した。戦争に伴い栽培面積が減少するが, 戦後の 1950 年 (昭和 25

年)には栽培面積が77haになり、広島市および御調郡西村(現尾道市向島)で盛んに栽培された(佐藤, 1953)。昭和45年以降、米の生産過剰対策として稲作から他の作物への転換が全国的に推進され、各種作物が水田に導入された。試行錯誤の中からイチジクが有利な転換作物として普及し、産地が形成された(加藤ら, 1982)。本県でも、水田転換品目としてイチジクが注目され、主要な品種を試作したが「蓬莱柿」以上の市場性を有する品種は見つからなかった。このため本県では「蓬莱柿」の中から優良系統を選抜し、共同育苗により産地が急速に拡大した(山田, 2004)。

平成27年産特産果樹生産動態調査(農林水産省)において、国内のイチジクの栽培面積は約1,000ha、生産量は約12,000tと報告され、愛知県、和歌山県、大阪府、兵庫県、本県、福岡県を中心とした西日本に多くの産地が存在する。品種構成は、約7割が「柘井ドーフィン」、残りを「蓬莱柿」が占め(真野, 2015; 細見, 2017)、これらが主な経済品種である(野方・栗村, 2005)。イチジクは、他の果樹と比べて栽培が容易で、結果樹齢に達するのが早く収益性が高いため、地域特産物として栽培面積が増加している品目である。また、イチジクの機能性も注目され(法村・山下, 1999; 法村, 2004)、他の果樹の消費が減少する中であって比較的安定した価格で取引される(真野, 2012)。本県では、近年、既存産地を中心とした沿岸島嶼部で、「蓬莱柿」の生産が振興されている(新田ら, 2005)。さらに2010年(平成22年)以降、本県の特徴的な農業施策として推進した農地集積による集落営農法人において、イチジクは法人経営の主要な品目の一つとして位置づけられている。

我が国におけるイチジクの生産振興を阻害する深刻な病害の一つがイチジク株枯病(以下、本病)(写真1)である。本病の病原菌は当初 *Ceratocystis fimbriata* Ellis et Halsted と記載されたが(加藤ら, 1982)、2011年に新種である *C. ficicola* Kajitani et Masuya (以下、本病原菌)(写真2)として報告(Kajitani and Masuya, 2011)された。本病は1981年に愛知県より初報告され、2017年3月時点では33府県で本病が確認されており(梶谷, 2017)、全国のイチジク産地にほぼ蔓延した状況にある。本病は感染樹を完全に枯死させる土壌病害で、一旦本病により土壌が汚染された圃場では、再発を阻止することは難しく、廃園に追い込まれる事例も少なくない。このため、圃場への本病原菌の侵入を防止することが極めて重要で、苗木を介した圃場への病原菌の侵入経路が強く意識された。その結果、健全苗木の確保と定植時の薬剤土壌灌注が重要な防除方法として奨励され(清水・三好, 1999)、一定の成果を挙げた。

1990年代になり、圃場への本病の新たな侵入経路としてアイノキクイムシ(*Euwallacea interjectus* (Blandford), 写真3, 以下、クイムシ)による本病原菌媒介の可能性が福岡県より報告された(梶谷, 1996)。しかし、本病の虫媒に関する研究事例は少なく、この伝染環の全体像が不明であることから、虫媒そのものを疑問視する声もあった。また、クイムシの加害が進行した後で本病の被害に気づくことが多く、感染が苗木由来なのか、クイムシ由来なのかを判断できないため、イチジクの生産現場ではクイムシに対する防除の重要性について認識されていなかった。

本県では、1996年に土壌病害として本病が初確認された（新田ら、2005）。その際には、本病による枯死被害が発生した圃場の割合は全県で1割程度であった（森田、未発表）。しかし、2004年に本県西部の一部地域で発生したイチジクの集団枯死は、当該地域の全ての圃場で枯死樹が確認される程、前例のない規模での甚大な被害であった。現地調査の結果、土壌伝染による枯死樹が確認された。加えてククイムシによる無数の穿入孔が確認される枯死樹（写真4）が確認された。この地域の発病パターンとして虫媒の可能性も想定されたが判然としなかった。福岡県で行われた先行研究では、ククイムシが介在した場合の発生地域および圃場内における枯死被害の拡大状況など、被害実態に関する定量的な報告は存在しなかった。

イチジクではククイムシの穿入防止対策として、主要な加害部位である地際幹部を中心にMEP乳剤の原液を年2回（4月と7月）処理する方法が確立されている。この方法の薬剤処理時期は、福岡県におけるククイムシの発生消長（梶谷、1996；梶谷、1999）に基づき設定された。本県におけるククイムシの発生生態に関する情報はなく、妥当な薬剤処理時期については検討されていなかった。また、イチジクを加害するククイムシを対象とした登録農薬は一種類しかなく、農薬登録上の使用方法が「散布」ではなく「塗布」に限定されていた。そのため1本ずつ株元に薬剤を人力で塗布するという、苦痛を伴う作業であるうえ長時間の労働が必要であった。生産現場での普及性を高めるためには「簡易で確実なククイムシ対策」の確立が必要とされていた。

本病は、病原菌の特定、発生・伝染経路に関する研究は実施されてきたが、発病の仕組みについては、衰弱・枯死樹が圃場で発生したのちの断片的な情報のみしか存在しなかった。また、本病は萎凋病として認知されているが、本病がイチジクの通水機能を低下させる実証試験は行われていなかった。

本病の土壌伝染への対策として、薬剤による土壌灌注が実施されている（清水・三好、1999）。本病の薬剤防除について廣田ら（1984）は、チオファネートメチル水和剤を3～11月まで毎月1回の割合で灌注すると最も防除効果が高いことを示した。清水ら（1999）は、定植後から1ヶ月間隔でチオファネートメチル・トリフルミゾール水和剤を収穫30日前まで使用した後、収穫期間中にチオファネートメチル水和剤を処理することで防除が可能であることを報告している。しかしながら、2006年5月29日から施行された残留農薬等に関する新たな制度（ポジティブリスト制度）の導入に伴い農薬の登録内容が変更された。本病に登録のある殺菌剤は収穫30日前までしか施用できなくなり、実質的に収穫期間中の防除ができない状態になった。本病原菌の生育適温や地温から判断すると、収穫期間中（本県の場合8～11月）もイチジクに対する本病原菌の感染や病徴が進むと考えられるため、収穫期間を対象とした収穫前日まで使用可能な薬剤の登録が必須であった。

本病の土壌伝染へのもう一つの対策として、抵抗性台木の活用がある。抵抗性台木による防除技術は、台木購入の費用は発生するが、薬剤土壌灌注の様に処理を毎年実施する必要がないため現地に導入され易い。これまでもイチジク品種および種内交配系統から選抜された抵抗性台木が実用化されている（細見、2006；細見・清水、2008；加藤ら、1982；野方・栗村、2005；清水・三好、1999；外側ら、1999）。しかし、これらの

抵抗性台木を用いても発病を皆無にすることは困難であるため、より強い抵抗性台木が求められている。

イチジク「蓬萊柿」の栽培を振興する県として、本病の発生を経験していない生産者や新規に栽培を始める生産者、現地指導者に対して本病の深刻さを本県のデータをもとに説明する必要がある。そこで本研究では、県内における本病の発生パターンを整理し、それらに対応した防除技術を検討した。

まず第1章で県西部の初発事例について調査を行い、ククイムシが関与した場合の本病の発生パターンを把握した。次に、県東部で実施したククイムシ加害初期からの5年間の追跡調査により、ククイムシが介在する条件において本病の被害の拡大状況を記載した。

第2章ではククイムシが関与した場合の病徴発現に及ぼす影響について、本病原菌を接種したイチジク苗木における病徴の進展過程として木部の通水阻害と萎凋症状の関係を調査することで、ククイムシにより持ち込まれた本病原菌によりイチジクが枯死することを明らかにし、ククイムシの加害防止対策の重要性を示した。これらの知見から、本県におけるククイムシ加害防止技術の開発を目指して、ククイムシの発生消長から防除適期を検討した。また、ククイムシの本病原菌保持割合とフラス（虫糞および木くず）の汚染割合を調査し、伝染源としての能力を評価した。さらに、開発した殺虫効果評価系を用いて有効薬剤の選択を行い、薬剤処理方法を「塗布」から「散布」に改良して防除効果と作業性を検証した。

第3章では土壌由来の感染に伴う病徴発現の解析と防除方法の開発を目指した。汚染土壌に定植したイチジク「蓬萊柿」で発現する病徴について、10年間（2005～2015年）継続観察し解析を行った。その中の一部では、定植年に定期的な苗木の解剖を行い、本病原菌の感染状況を調査することで初期感染時期を推定し、薬剤処理の開始時期を検討した。加えて、本病汚染土壌へ定植した後に自然発病したイチジク「蓬萊柿」における外部および内部病徴の観察事例により被害実態を再整理した。薬剤土壌灌注による防除方法として、収穫前日まで使用可能となったテブコナゾール水和剤（2013年2月登録拡大）を組み入れた防除体系の有効性を評価した。さらに、新たな抵抗性台木の開発を目指し、イチジク栽培品種との接木親和性が低く、直接台木利用できないものの本病に対し強い抵抗性を有する近縁種のイヌビワ（*Ficus erecta* Thunb.）に着目し、イチジクとの種間交雑個体（ F_1 ）の獲得に世界で初めて成功した（Yakushiji *et al.*, 2012）。また F_1 の花粉をイチジクに人工受粉し、戻し交雑体（ BC_1 ）を獲得した（Yakushiji *et al.*, 2019）。これらの種間雑種は、イチジク種内から選抜された既存の抵抗性台木とは異なり、本病に対してイヌビワと同等の抵抗性を持つことが期待される。数多く得られた種間交雑系統について、これらが有する抵抗性を確実かつ簡易に評価するため幼苗検定法を作成した。 F_1 や BC_1 を対象とした幼苗検定により抵抗性の評価を行い、抵抗性台木として有望な系統の選抜を進めた。

第4章では、以上の結果に基づき、本県における本病の発生パターンに対応した防除方法を提案するとともに、今後の課題と展望について総合考察を行った。



写真1 イチジク株枯病による枯死樹



写真2 株枯病菌 (*Ceratocystis ficicola*)

左：PDA 培地上の菌叢

右：子のう胞子塊 (直径約 0.5 mm)

子のう殻頸部 (長さ約 1~3 mm)



写真3 アイノクイムシ成虫（雌成虫，体長約4mm）

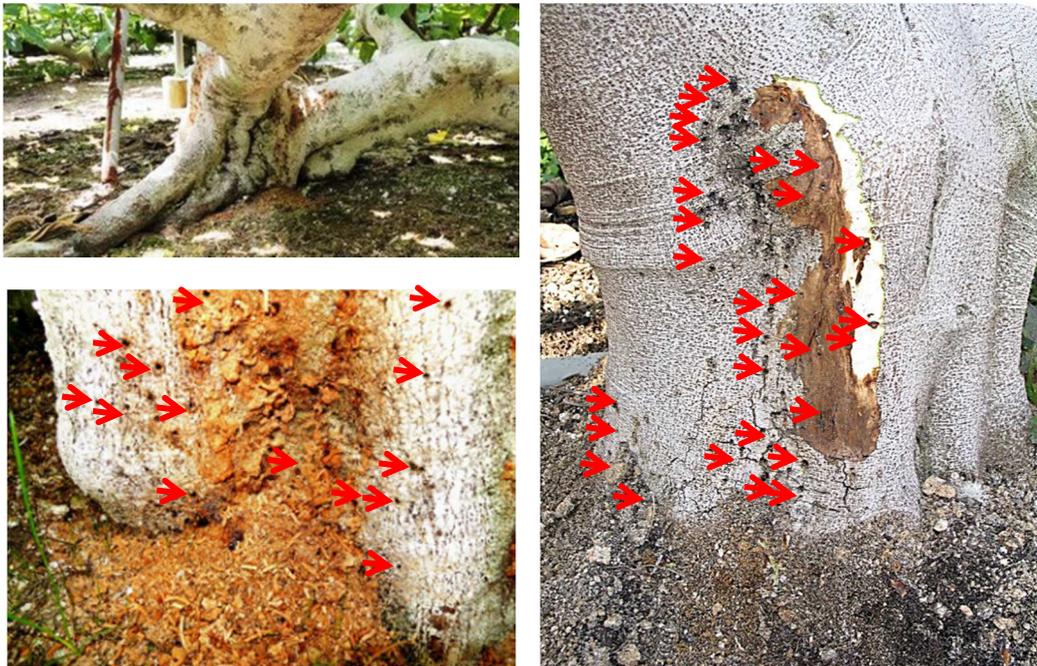


写真4 アイノクイムシの加害樹

- 左上： 加害樹の株元
- 左下： 株元拡大（無数の穿入孔と大量のフラス）
- 右： 穿入孔周辺の木部は褐変し，株枯病菌が高率に検出される
- ： 穿入孔を示す

第1章 アイノキクイムシが関与した場合のイチジク株枯病の発生状況

第1節 枯死被害発生後の被害重症化調査事例（県西部の事例）

本病は土壌病害（梶谷ら，1992；加藤ら，1982）として分類され，薬剤土壌灌注や抵抗性台木による防除（細見・瓦谷，2004；細見，2006；清水・三好，1999；清水ら，2008；外側ら，1999）が実施されている。しかし，これらの防除技術を用いても，一旦本病により土壌が汚染された圃場で発病を阻止することは困難であるため，圃場への本病原菌の侵入を防止することが極めて重要である。

圃場への本病原菌の侵入経路として，感染苗木や苗木に付着した汚染土壌の持ち込み（梶谷ら，1992；加藤ら，1982）が指摘され，健全苗木の確保と定植時の苗木消毒が重要な防除方法として奨励されてきた（梶谷ら，1992；加藤ら，1982；清水・三好，1999；外側ら，1999）。一方では，クイムシ（*Eurwallacea interjectus* (Blandford)）（以下，クイムシ）のイチジク樹幹への加害が，1996年に福岡県で報告され，クイムシによる本病原菌媒介の可能性が指摘されている（梶谷，1999）。しかし，クイムシが介在した場合の被害実態に関する調査事例はなく，注意を払う対象として認知されていなかった。この様な状況の中，2003年頃から広島県（以下，本県）西部で発生した，クイムシが介在したイチジクの集団枯死について発生実態調査を行い，その特徴を整理した。

1 材料および方法

調査対象地域の履歴

本県西部の沿岸地域に位置する呉市安浦地区（北緯34度16分，東経132度45分）は，1985年頃から埋立地においてイチジクの生産団地が形成され，「蓬莱柿」に特化した栽培が営まれていた。1989年の実態調査時には当該地区における病害虫として，黒かび病などの果実腐敗が最も問題とされ，次いで，そうか病，モザイク病，カミキリムシ類，サツマイモネコブセンチュウがリストアップされた（新田ら，2005）。しかし，当該地域では，苗木業者から購入し，定植2年経過した3年生樹に本病が1996年に初発生した。その後，2003年頃から，主幹部を中心に径1~2mmの穿孔が多数見られるようになり，その穿孔部位周辺の木部褐変が次第に拡大し，樹皮表面がやや窪み，生育期に葉の黄変，萎凋，落葉とともに立枯れる症状が多発した。約1割が欠株状態になり生産性の低下が問題となったため，現地からの依頼に基づき被害の実態を調査した。

調査方法

現地調査は産地を構成する全7圃場（「蓬莱柿」903樹）を対象に，2004年11月17日，11月30日，12月9日および2005年1月31日に実施した。現地の被害状況から調査樹を，I：幹部に株枯病斑とクイムシ穿孔加

害がある、Ⅱ：株枯病斑のみキクイムシ穿孔加害なし、Ⅲ：株枯病斑なくキクイムシ穿孔加害のみ、Ⅳ：株枯病斑およびキクイムシ穿孔加害なし（外観健全）の四つに区分し、全調査樹に占める割合を区分ごとに集計した。調査対象地域における本病被害の分布状況を整理するため、区分ⅠとⅡを本病発生樹とみなし圃場ごとに集計した。また、被害部位から（外観健全樹はキクイムシの加害が集中した地際幹部から）木部を含めた樹皮をサンプリングして区分ごとに本病原菌の検出を行った。検出方法は、切り取ったサンプルを 25℃、全暗、温室条件で 13 日間静置し、本病原菌特有の子のう殻の形成の有無を肉眼で調査した。

2 結果および考察

症状区分ごとの樹数（発生樹率）は、区分Ⅰ：81 本（9.0 %）、区分Ⅱ：21 本（2.3 %）、区分Ⅲ：17 本（1.9 %）、区分Ⅳ：784 本（86.8 %）であった（第 1-1 表）。調査地域全体の本病発生樹率（区分ⅠとⅡの合計値）は 11.3 % に達した（第 1-1 表）。

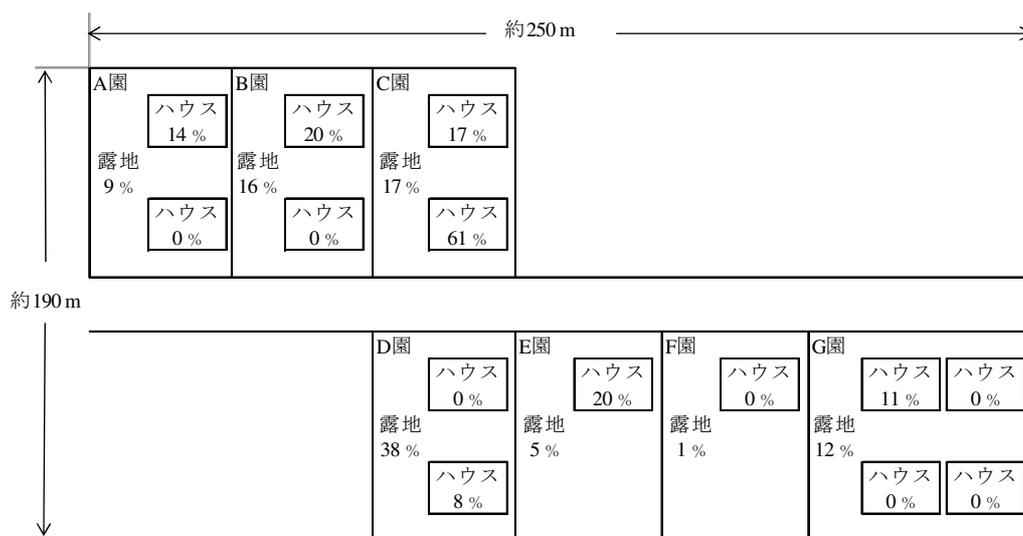
園ごとの本病発生樹率を第 1-1 図に示した。調査対象 7 園のうち全ての露地圃場で本病発生樹が確認され、本病が地域全体に広く分布していることが明らかになった。また、14 のハウスの内 7 ハウスで本病発生樹が確認され、その中には被害樹率が 61 %（C 園）に達する重篤な事例も存在した（第 1-1 図）。

各症状を呈したイチジク樹体の一部から本病原菌の検出を試みた。その結果、本病斑のある区分ⅠとⅡについて、区分Ⅰでは調査樹 36 本の内 86 %から、区分Ⅱでは 2 本と調査樹数が少ないものの全樹から本病原菌が検出された。さらに、病斑がなくキクイムシ穿孔加害のみの区分Ⅲでも 4 本の調査樹全てから本病原菌が検出された。なお区分Ⅳの外観健全樹からは本病原菌は検出されなかった（第 1-2 表）。

本調査の本病発生樹では本病斑とキクイムシ穿孔加害の両方が確認される区分Ⅰの割合が 9 %（903 本の調査樹の内 81 本）と最も高く、この中には葉の黄変や萎凋を伴う枯死樹も含まれていた。枯死症状から本病が主要因であると想定されたものの、本病原菌の樹体への感染が苗木由来なのか、キクイムシ由来なのかは判然としなかった。また、本病原菌とキクイムシがどの様に関係し、イチジクの集団枯死を引き起こしたのかについても明らかでなかった。

第 1-1 表 調査地域で観察される株枯病およびアイノキクイムシ加害状況の分類とその割合 (2004 年, 広島県呉市安浦町)

区分	症状		樹数 (本)	割合 (%)
	株枯病斑	キクイムシ 穿孔加害		
I 両症状を併発	あり	あり	81	9.0
II 株枯症状のみ	あり	なし	21	2.3
III キクイムシ加害のみ	なし	あり	17	1.9
IV 外観健全	なし	なし	784	86.8
合計樹数 (本)			903	100



第 1-1 図 園地および圃場ごとの株枯症状発生樹率 (2004 年, 広島県呉市安浦町)

第 1-2 表 各症状を呈したイチジク樹体からの株枯病菌検出状況

区分	症状		調査樹数 (本)	株枯病菌検出率 ^{a)} (%)
	株枯病斑	ククイムシ 穿孔加害		
I 両症状を併発	あり	あり	36	86
II 株枯症状のみ	あり	なし	2	100
III ククイムシ加害のみ	なし	あり	4	100
IV 外観健全	なし	なし	20	0

^{a)} 主要な被害部位である幹部から木部を含めて樹皮を削り取り、25°C、全暗、湿室条件で 13 日間静置した
株枯病菌特有の子のう殻の形成の有無から検出率を算出した

第 2 節 加害初期からの追跡調査事例（県東部の事例）

2004 年に県西部のイチジク産地で発生した本病とククイムシが関与したイチジク集団枯死事例を受けて、県内の主要なイチジク生産地域に調査範囲を拡大して現地調査を実施した。その結果、県内 23 地点のうち 9 地点で本病とククイムシ両方の被害が確認され、県内広域に同様の被害が発生していることが明らかになった。

福岡県ではククイムシによる本病原菌媒介の可能性が指摘されている（梶谷，1996；梶谷，1999）が、この感染経路に関する研究事例は少なく、イチジク生産地ではククイムシに対する防除の重要性はあまり認識されていないのが現状である。その理由の一つとして、ククイムシの加害が進行した後で本病の被害に気づくことが多く、感染が苗木由来なのか、ククイムシ由来なのかを区別できない事例（新田ら，2005）が多いことが挙げられる。

このような状況の中、過去に本病の発病履歴がなく、2005 年の県内全産地調査において本病とククイムシの被害が確認されなかった地域において、2006 年に初めてククイムシの加害が確認された。加害初期からの追跡調査は、ククイムシの生態と本病発病との関係性の解明に繋がる貴重なデータを得ることが出来る機会となる。この地域において、まず圃場におけるククイムシの加害と本病罹病樹の拡大状況を調査した。次にククイムシによる加害の経過年数が異なる圃場から選定した樹体および根圏土壌からの本病原菌の検出状況を調査した。

1 材料および方法

圃場におけるアイノクイムシの加害と株枯病罹病樹の調査

本県尾道市浦崎地区（北緯 34 度 24 分，東経 133 度 16 分）では，開園当初に定植され，成木化した「蓬莱柿」が栽培されていた。調査を行った 14 圃場（第 1-2 図）には 2005 年時点でクイムシの樹幹穿孔と本病の発生報告がなかった。その後，2006 年からこの地区で両者が確認されるようになった。そこで，穿孔の有無から判断したクイムシの加害について 2009 年に一部の圃場を対象とした予備的な調査を行い，2010 年 10 月 28～29 日には全定植個体（2010 年の時点で 10～25 年生）について調査した。樹齢とクイムシ加害初発年は，生産者からの聞き取りと目視調査により圃場単位で集計した。また，クイムシの加害と本病の発生については目視調査で確認し，圃場別に樹単位で集計した。

イチジク樹体と根圏土壌からの株枯病菌検出調査

クイムシによる加害の経過年数が異なる 5 圃場から調査樹 5 本を選び，樹体と根圏土壌から本病原菌の検出を行った（第 1-3 表）。また，クイムシの加害のない 2 圃場から外観健全樹 6 本を選び，同様に本病原菌の検出を行った（第 1-3 表）。樹体については，70 %アルコールで滅菌したナイフを用い，クイムシ穿孔被害が集中する地際幹部から縦横約 5 cm，厚さ約 5 mm の木部を含む組織を採取した。採取組織は，表面を火炎殺菌した後に，蒸留水で湿らせたティッシュペーパーを入れたビニール袋で包み湿室状態とし，25 °C の恒温条件下で 10～20 日間静置して本病原菌の特徴的な子のう殻の形成を肉眼で観察した。また，土壌からの本病原菌の検出には，梶谷らの簡易検出法（梶谷，1995）を用いた。供試土壌約 100 g をカップに入れ，水道水を約 20 ml 分注して湿潤状態とした後，本病発生履歴のない圃場から採取した「蓬莱柿」の切り枝 3 本（長さ 5～10 cm，直径 1 cm 程度）を半分程度土壌に埋め込み，25 °C の恒温条件下で 10～20 日間静置して子のう殻形成の有無を肉眼で観察した。なお，土壌サンプルは調査樹の株元から畝の左右方向に 50 cm 間隔で 200 cm までの各部位について，深さ 0～5 cm，15～20 cm，30～35 cm および 45～50 cm から採取した。また，健全樹は株元から畝の左右方向に 50 cm の部位について，深さ 0～5 cm および 15～20 cm の土壌のみ採取した。

2 結果

圃場におけるアイノクイムシが介在した株枯病の被害拡大の推移

圃場別のクイムシ加害初発からの経過年数と被害状況を第 1-3 表に示した。2006 年にクイムシの穿孔が初めてこの地域で確認された後，加害される圃場が急増し，2010 年 10 月には 9 圃場（64.2 %）でクイムシの穿孔が確認された（第 1-3 図）。さらに 3 圃場（21.4 %）では樹体の枯死が確認された（第 1-3 表）。

クイムシの加害初発からの経過年数別にそれぞれの圃場の被害状況を比較すると初発当年，1 年および 2 年経過した圃場では，クイムシによる穿孔加害樹率が 3.1～23.1 % で本病による枯死被害は無かった（第 1-3 表）。

しかし、初発から3年以上経過した3圃場では穿入加害樹率が51.6～87.8%に急増し、本病による枯死樹率が33.3～45.2%に達した。2010年3月には1圃場(圃場番号8)は約7割を伐採し、1圃場(圃場番号9)は全樹を伐採し廃園になった(第1-3表)。なお、枯死樹の外観調査から、白紋羽病など本病以外の枯死原因は確認されなかった。

イチジク樹体と根圏土壌からの株枯病菌検出

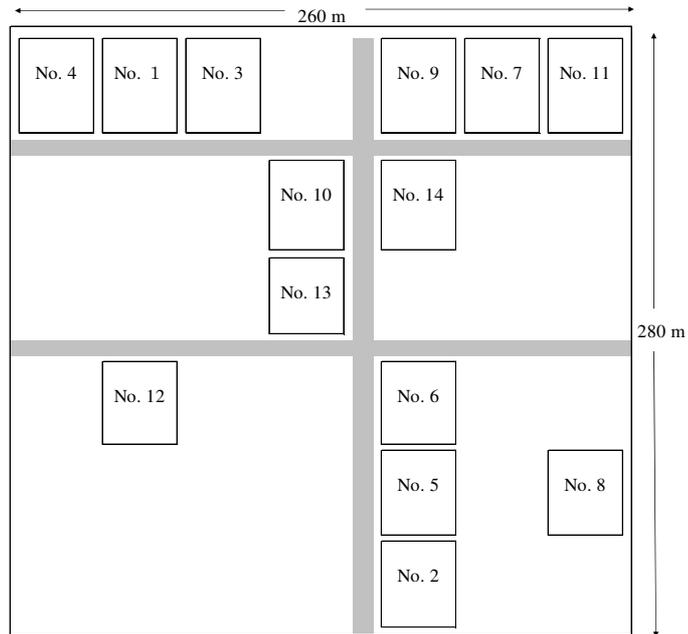
ククイムシによる加害のない調査樹(2圃場由来の6樹)では、全ての樹体および土壌から本病原菌は検出されず(第1-4図)、本地域においては土壌経由での感染および潜在感染の可能性が低いことが確認された。一方、ククイムシの加害樹(5樹5圃場)全てから本病原菌が検出された。調査樹の根圏土壌からは、加害後の経過年数により検出状況が異なる傾向が認められた。加害当年と経過年数1年の4樹では、2樹(調査樹IおよびIII)の根圏土壌からは本病原菌が検出されず、残りの2樹(調査樹IIおよびIV)については、株元から水平方向に50cm以内で深さ20cm以内の限定された範囲で本病原菌が確認された(第1-4図)。一方、加害から4年が経過した圃場の調査樹Vでは、深さは20cm以内であるが、水平方向には株元から200cmまでの広い範囲で本病原菌が検出された(第1-4図)。

3 考 察

尾道市浦崎地域のイチジク圃場は、周辺を海と山に囲まれ、県内外の被害地域からは地理的に隔離されており、風雨や近隣圃場からの土壌表面流水による土壌伝染はないと考えられる。また、外観上健全な樹体およびその株元周辺の根圏土壌からは本病原菌が検出されなかった。このことから、当地域では、感染苗木および苗木の根部に付着した汚染土壌を介した伝染の可能性は極めて低いと考えられる。

一方、本病による枯死樹には例外なくククイムシの加害があったことと、ククイムシの孔道があり枯死していない個体からも本病原菌が検出されたことから、この地域では本病原菌がククイムシ成虫によりイチジク成木に持ち込まれ、樹体の枯死を引き起こしていると考えられた。

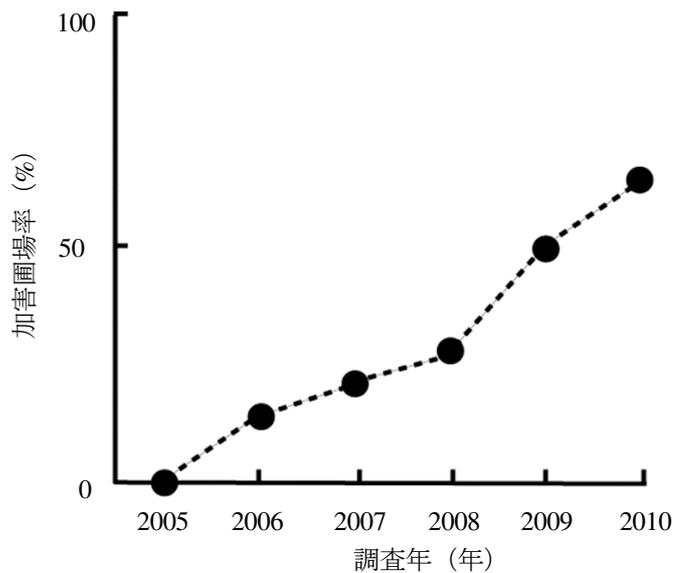
ククイムシの介在の有無に関わらず、本病がどのようなプロセスを経て圃場間および圃場内で蔓延していくのかを経時的に示す定量的なデータはこれまで無かった。本研究によりククイムシが介在した圃場では、本病が激害化して3年から4年で圃場内の枯死樹率が40%前後に達することや、その後、廃園に至る事例が示された。



第 1-2 図 調査対象地域におけるイチジク圃場の位置関係（広島県尾道市浦崎町）

四角囲みはイチジク調査圃場を示す

その他の場所はキャベツおよびカボチャの栽培圃場



第 1-3 図 アイノクイムシ加害圃場率の推移（広島県尾道市浦崎町）

第 1-3 表 アイノキクイムシ初加害からの経過年数が異なる圃場における被害状況
(2010 年, 広島県尾道市浦崎町^{a)})

圃場 番号	初発年 (経過年数)	調査 樹数	樹 齢	虫害 ^{b)} 樹数 (虫害樹率 (%))	枯死 ^{c)} 樹数 (枯死樹率 (%))	株枯病菌 ^{d)} 検出調査樹
1	2010年 (初発当年)	18	10-16	1 (5.6)	0 (0)	I
2	2010年 (初発当年)	13	10-16	3 (23.1)	0 (0)	II
3	2009年 (1 年)	30	10-16	5 (16.7)	0 (0)	III
4	2009年 (1 年)	32	10-16	4 (12.5)	0 (0)	IV
5	2009年 (1 年)	32	10-16	1 (3.1)	0 (0)	—
6	2008年 (2年)	30	10-16	1 (3.3)	0 (0)	—
7	2007年 (3年)	31	10-16	16 (51.6)	14 (45.2)	—
8 ^{e)}	2006年 (4年)	24	25	17 (70.8)	8 (33.3)	V
9 ^{f)}	2006年 (4年)	49	25	43 (87.8)	19 (38.8)	—
10		3	10-16	0 (0)	0 (0)	—
11		25	10-16	0 (0)	0 (0)	VI, VII, VIII
12	虫害なし	19	10-16	0 (0)	0 (0)	—
13		3	10-16	0 (0)	0 (0)	—
14		16	10-16	0 (0)	0 (0)	IX, X, XI

a) 開園当初の植栽樹を主体とし、2005 年の時点でアイノキクイムシおよび株枯病の発生履歴がない地域

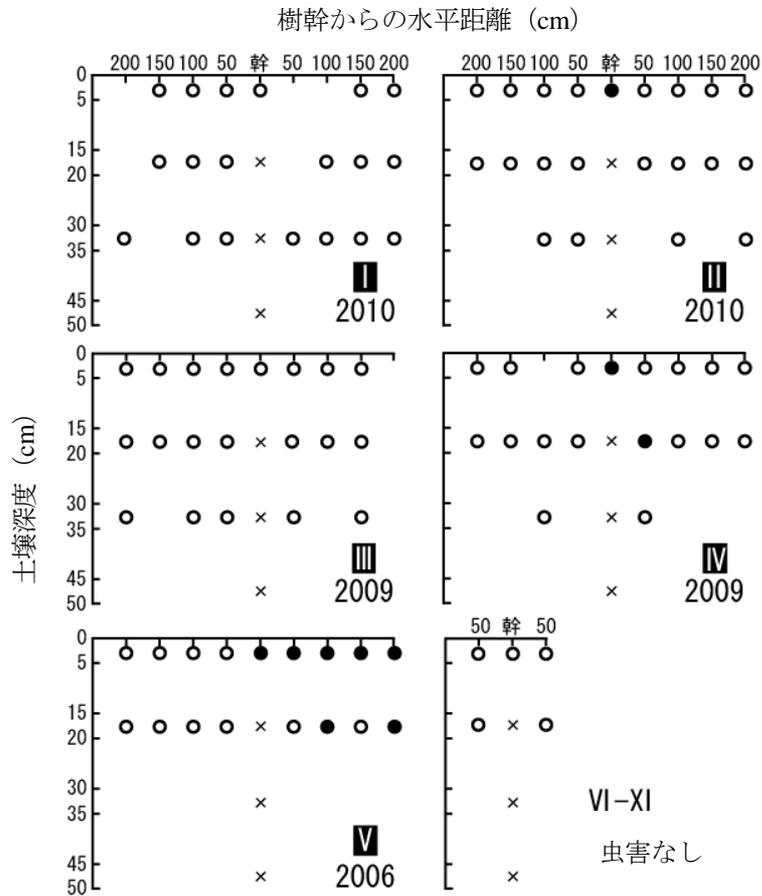
b) アイノキクイムシによる穿孔加害樹

c) 全ての枯死樹においてアイノキクイムシ穿孔加害を確認

d) 樹体および土壌からの株枯病菌の検出調査に供試した樹番号 (第 1-4 図)

e) No.8 圃場は 2010 年に約 7 割を伐採したため 2009 年 10 月の値

f) No.9 圃場は 2010 年に全樹を伐採し廃園となったため 2009 年 10 月の値



第1-4図 アイノキクイムシによる加害履歴の異なるイチジク樹幹部の
周辺土壌からの株枯病菌の検出状況

図中のローマ数字は樹体番号を示す

その下の数値はアイノキクイムシ初加害年を示し第1-3表と対応する

I~V : アイノキクイムシ加害あり, 加害部位の幹から株枯病菌検出

VI~XI: アイノキクイムシ加害なし, 幹から株枯病菌非検出

土壌調査は水平方向50cmに限定して実施, 全樹とも全ての
部位で株枯病菌非検出のため, 一事例のみ図示

- : 根があり, 土壌から株枯病菌が検出された部位
- : 根がなく, 土壌から株枯病菌非検出の部位
- : 根があり, 株枯病菌非検出の部位
- ×: 樹体直下で土壌が採取できないため調査結果無し

第2章 アイノキクイムシが関与した場合の病徴発現の解析と防除方法の開発

第1節 アイノキクイムシが関与した場合の病徴発現の解析

株枯病菌を接種したイチジク苗木における病徴の進展過程（木部の通水阻害と萎凋症状の関係）

本病はその感染経路より、従来から汚染土壌に由来する土壌病害として認識されている。さらに近年では、クイムシによる媒介が指摘され（梶谷，1996；梶谷，1999），クイムシによる本病原菌の持ち込みが主要な侵入経路となって本病が激害化した事例も示されている（第1章：森田ら，2012b）。

本病について、病原菌の特定、発生・伝染経路などが解明されてきたが、発病の仕組みについては、衰弱・枯死樹が圃場で発生したのちの断片的な情報のみしか存在しない。そこで本節では、本病の防除対策を開発する上で必要なクイムシが関与した場合の本病発病の仕組みの解明に取り組んだ。自然感染樹の観察だけでは萎凋に至るまでの内部病徴を経時的に追跡できないため、クイムシによる主幹組織へ複数の感染が集中した場合を想定し、イチジク苗木の幹部への有傷接種によって起こる宿主内での本病原菌の分布や内部病徴の変化について、外観健全な状態から萎凋枯死に至る一連の外部病徴の進展過程ごとに纏めた。

1 材料および方法

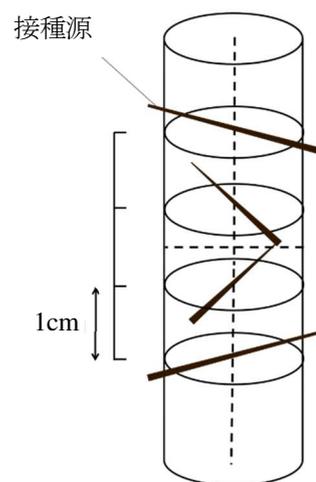
株枯病菌接種と試料採取

供試苗木：2011年2月14日に剪定した「蓬莱柿」の一年枝を、供試するまで冷蔵保存した。2011年6月7日に長さ約5cmに切断した一年枝をポット内に充填した培地（ハイポネックス®培養土）に挿し木した。その後、接種日まで本病が発生していない無加温ハウス内で管理・育成した。挿し木2年目のクローン苗40本の平均茎長および接種部の平均茎径は、それぞれ103cmおよび17mmであった。

接種源：本県の主要なイチジク産地5ヶ所から分離した本病の菌株間には病原力に明瞭な違いがないことが確認されている（森田ら，2012a）。本試験では広島cf01株（広島総研保存菌株；2006年5月に広島県呉市安浦町のイチジク枯死樹の地際周辺土壌から分離）を用いた。供試菌株は、PDA平板培地で2～3週間前培養（25℃、暗黒下）し、培地上に形成された菌叢上に滅菌した爪楊枝（長さ7cm、径2.2mm）を置いて、約15日間培養を継続し、菌糸が十分に付着した爪楊枝を接種源とした。なお、後述の有傷無接種区には、滅菌爪楊枝を用いた。

接種方法：接種様式は、既往の研究（Kuroda *et al.*, 2005；黒田，2007）を参考にした。電動ドリルを用いて、苗木の主幹中心部を垂直に貫通する穴（直径約3mm）をあけた。この穴に前述の爪楊枝を突刺し、主幹の反対側に先端が1cm程度出るまで押し込んだ。差し込んだ爪楊枝は、主幹表面の位置で両端を切断し、接種部の主

幹も含めて接木用テープで覆い、付傷部からの水分蒸発を防止した。本実験を行う前に、同様の材料を用いて接種点数に関する予備試験を行った。1点、2点、4点および6点の有傷無接種を行ったところ、6点接種では傷に起因すると思われる枯死樹が発生し、4点接種以下では枯死樹は発生しなかった。このため、接種に伴う傷のみの影響でイチジクの苗木が枯死せず、より高い確率で本病原菌を苗木に感染させる方法として、本研究では4点接種を採用した。接種は、主幹の地際部から10 cm上の位置を中心に上下2ヶ所（合計4ヶ所）へ行った。近接する接種点はKuroda（2005）を参考に高さと角度をそれぞれ約1 cm および45°違い、全体として接種点を螺旋状に配置した（第2-1図）。2012年9月5日に菌接種と滅菌爪楊枝を用いた有傷無接種処理を実施した。供試苗木は、露地圃場に置き、日に3回の灌水（灌水量は1 L/回）条件で一律に管理した。



第2-1図 株枯病菌培養爪楊枝もしくは滅菌爪楊枝をイチジク苗木主幹部に処理した方法の模式図

外部病徴の把握と試料採取

本試験では、菌接種苗木における外部病徴の区分を、次のように定義した。菌接種していない苗木と比較して見かけ上の違いが確認できない状態を外観健全 (No external symptoms : NS), 葉がしおれて下垂しているが枯死していない状態を萎凋 (Leaf wilting : LW), さらに全ての葉が褐色に変色した状態を枯死 (Dead : D) とした。接種 14 日以降 42 日後まで 7 日間隔で各 2~4 本をポットから抜き取り, 以下の手順で解体し観察した。なお, 病徴発現までは無作為に採取し, 一部の個体に病徴が発現した後は, 病徴ありと無病徴の個体の両方を採取した。

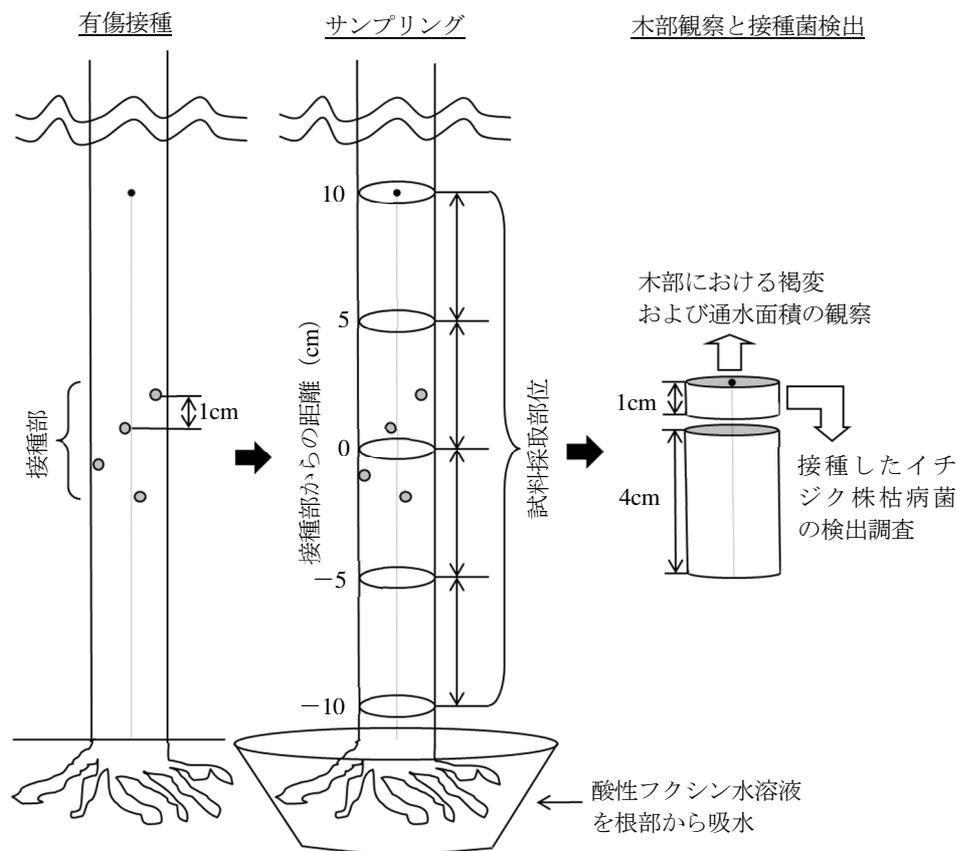
通水機能の測定と評価

通水機能を評価するため, 抜き取った苗木の根部を 1 %酸性フクシン水溶液に浸して 2~4 時間吸水させた。酸性フクシン水溶液を植物の根から吸入させると, 木部で通水機能がある部分 (道管, 仮道管等) は染色されるが, 変色部やその周囲部などで通水機能を失った部分は染色されないことが知られており, 肉眼観察による通水の把握に有用な手法である (Kuroda *et al.*, 1988 ; 黒田・山田, 1996 ; Kuroda, 2005)。なお, 後述のとおり, 有傷無接種の健全な苗木は, 葉を摘み取っても水を吸い上げることを確認している。

菌接種に伴う内部病徴の上下方向への広がり調べのため, 苗木の接種部を 0 cm とし, その上下方向に 5 cm と 10 cm の位置で主幹を切断し, 幹横断面 (合計 5 ヶ所) (第 2-2 図) をデジタルカメラ (Nikon Coolpix P310) で撮影した。なお接種 21 日後の供試苗木の一部で, 接種部より 15 cm 上部で木部褐変が確認されたため, 以降に採取した接種苗木については, 接種部より上方向の試料採取は苗木の先端部まで実施し, 20 cm 以上の上部では 10 cm 間隔で切断して写真撮影した。通水停止が確実な部位を明らかにするため, 供試木の各横断面について既往の研究 (黒田・山田, 1996 ; 黒田, 2007) により示された方法に沿い, 褐変部, 染色部を選定し, 目視で判定できる範囲をフリーハンドで指定した。その範囲の面積を画像解析ソフト Image J (National Institutes of Health) で計測し, それぞれ主幹木部の横断面積 (髄を除く) に対する割合を算出した。木部褐変面積割合が 100 % に近づくほど, 葉への水分供給の効率が低下していると言える。酸性フクシン水溶液による木部の染色面積割合と褐変面積割合の両者から, 接種苗木における通水阻害の進行状況を推定した。

接種菌の検出

写真撮影後の試料は本病原菌の検出調査に用いた。5 cm 間隔に切断した主幹片の上側切口 (-10 cm のみ下側切口) から約 1 cm の断片を採取し (第 2-2 図), 表面を火炎殺菌した後に, ポリエチレン製袋内で温室条件下, 25 °C に保ち, 30 日間静置した。この期間内に断片上に形成される子のう殻の有無により本病原菌の存在を判別した。



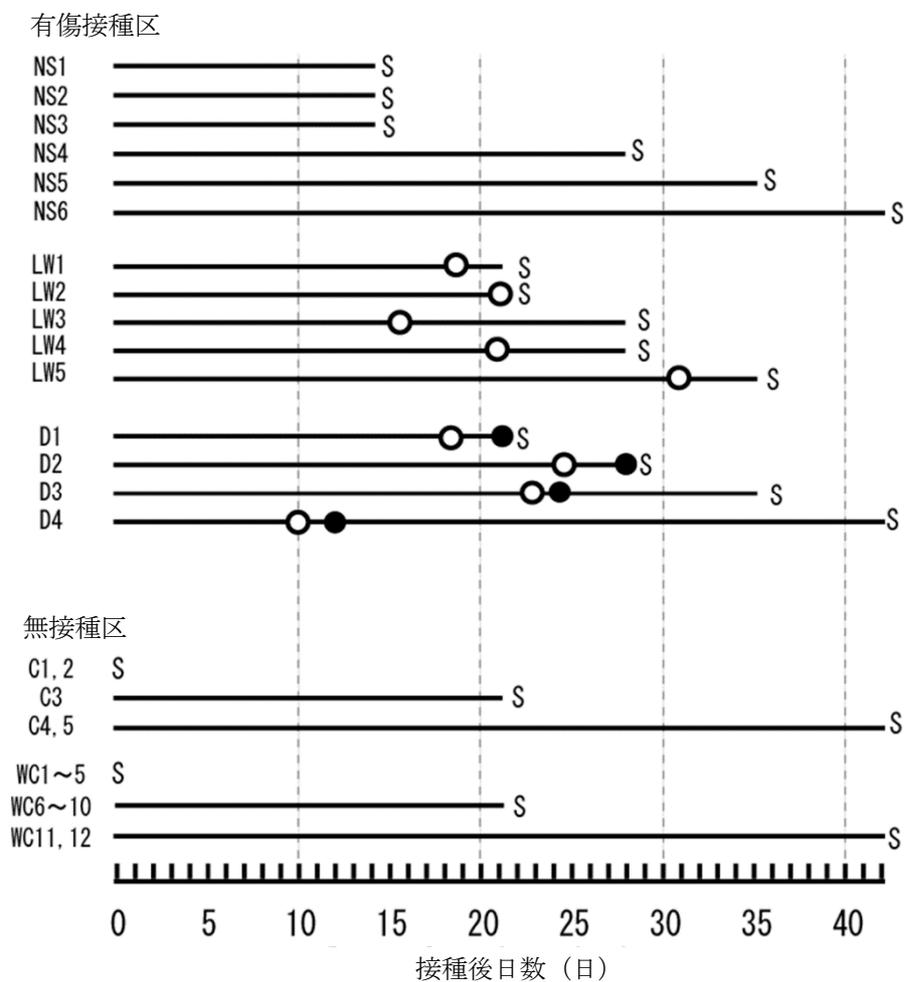
第 2-2 図 接種部およびサンプル採取部位の模式図

主幹の地際部から 10 cm 上部の位置を中心に、
約 1 cm および 45° 離れた上下 2ヶ所、合計 4 点接種 (第 2-1 図)

2 結果および考察

接種後の外部病徴の進展

本病原菌接種後の病徴進展状況を第 2-3 図に示した (対照も含めて 32 本分)。萎凋症状の開始時期は、最も早い例で接種の 10 日後であったため、外部病徴の進展については接種 2 週間後以降に調査した。本病原菌を接種した多くの供試苗木は接種 2~3 週間後に萎凋症状が発現し、その後 2~4 日で枯死した。しかし、42 日後に病徴が発現していない個体も 1 本存在した。このように病徴発現の時期が個体によりずれており、接種後の日数に沿った解析では病気の進展プロセスの記述が困難であることから、以下の記述では前述の病徴によるグループ分け (NS, LW, D) によって行い、第 2-4 図には菌を接種していない 2 グループと菌を接種した病徴別 3 グループの代表例について、酸性フクシン水溶液の吸水処理前と処理後の外観、主幹部の横断面を示した。無傷無接種の対照木、有傷無接種の対照木および外観健全木では、酸性フクシン水溶液が葉の維管束まで到達することによって全ての葉が赤く染色された。しかし、葉に萎凋が見られる個体や枯死した個体では葉が染色されなかった。

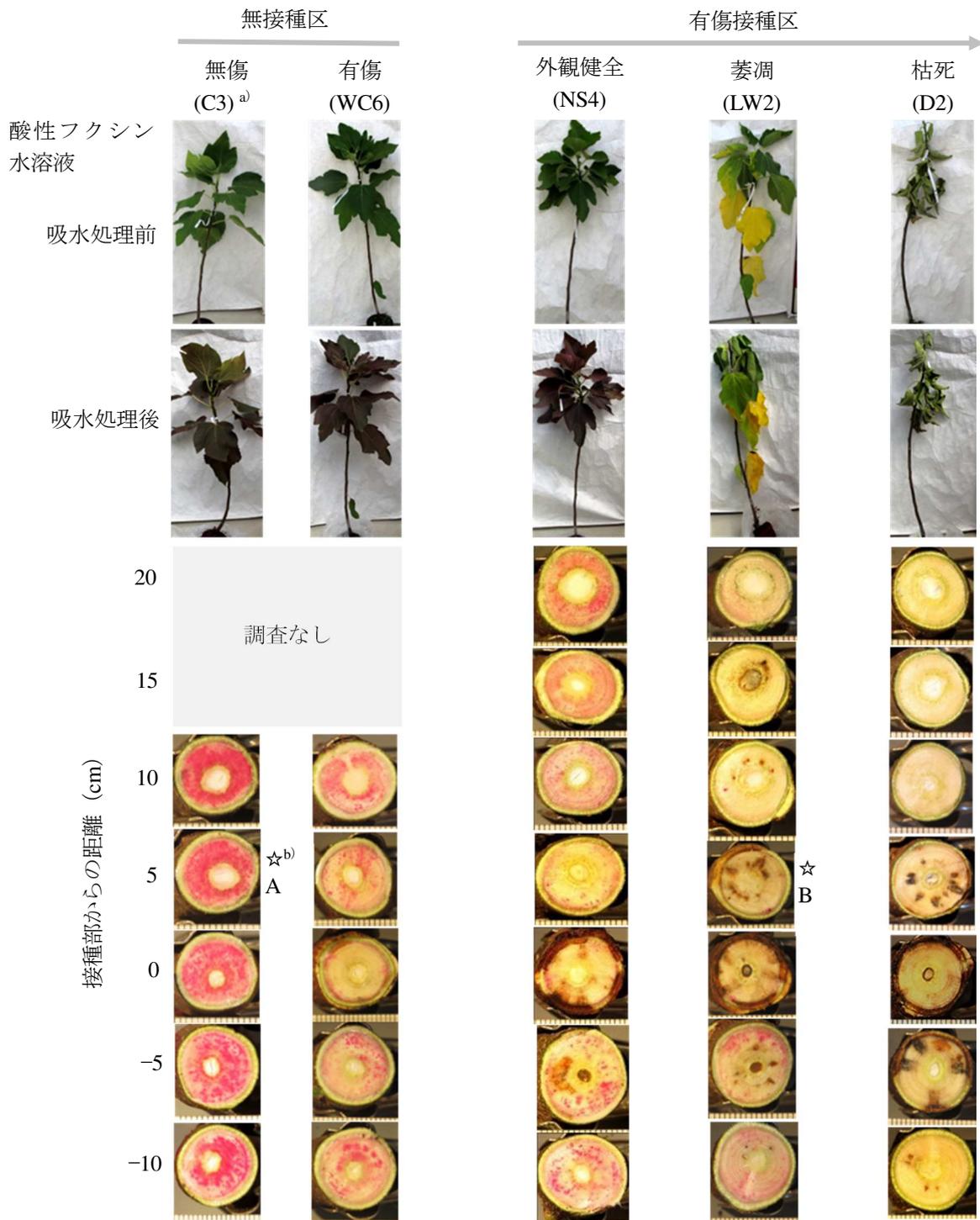


第2-3図 イチジク株枯病菌接種苗の病徴進展状況

S : 採取日, ○ : 萎凋開始日, ● : 枯死日

NS : 外見健全, LW : 萎凋, D : 枯死

C : 無傷無接種, WC : 有傷無接種



第 2-4 図 イチジク株枯病菌接種および無接種苗の根から酸性フクシン水溶液を吸水処理した後の木部横断面（病徴区分ごとの代表例）

^{a)} () 内の符号は第 2-3 図と対応

^{b)} ☆は第 25 図を参照

株枯病菌の子のう殻形成が確認された範囲

断片上に本病原菌の子のう殻形成が確認された範囲を接種部からの距離別に第 2-1 表で示した。外部病徴別の 3 グループに分けたうえで、接種後の日数の順に整理した (第 2-1 表)。接種後 42 日間のいずれの時期でも、また外部病徴が NS, LW, および D のどの段階でも、接種苗木の大半から接種部 (0 cm) を中心に子のう殻形成が認められた (第 2-1 表)。6 本の外観健全木のうち 3 本 (NS1, 3, 5) は接種部のみ、1 本 (NS2) は接種部から下方向に 5 cm の部位でのみ子のう殻形成が確認された (第 2-1 表-NS)。接種 28 日後に採取した NS4 では接種部から上下方向各 5 cm の全範囲で子のう殻形成が確認された。接種 42 日後に外観健全であった 1 本 (NS6) のみ、子のう殻形成が確認されなかった。

外部病徴が発現し、苗木が萎凋し始めた段階では、子のう殻形成が確認された範囲は外観健全木よりも広がっていた (第 2-1 表)。萎凋症状が発現した初日の採取 (LW2)、萎凋症状発現の 3 日後 (LW1) および 4 日後 (LW5) に採取した萎凋初期段階の 3 本では、接種部および下方 10 cm の範囲で子のう殻の形成が確認された。萎凋症状が発現し 7 日後 (LW4) と 13 日後 (LW3) に採取した 2 本では、接種部を含めて上下両方向に各 10 cm の範囲で子のう殻形成が確認された。接種部から上方 15 cm 以上では子のう殻形成が確認されず、20 cm から先端部までのデータは表から割愛した。枯死後に採取した個体では、接種部とその下方 10 cm の範囲から子のう殻形成が確認されたが、接種部の上方からは確認されなかった (第 2-1 表)。

第 2-1 表 イチジク株枯病菌接種苗からの株枯病菌子のう殻の検出状況^{a)}

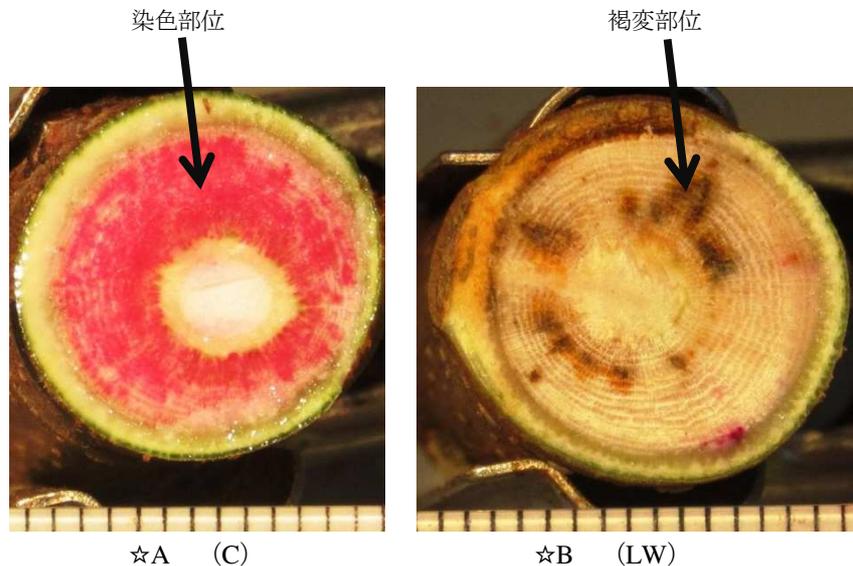
接種部からの距離 (cm)	外観健全 (NS)						外部病徴					枯死 (D)			
	NS1	NS2	NS3	NS4	NS5	NS6	LW1	LW2	LW3	LW4	LW5	D1	D2	D3	D4
20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	—	—	—	—	—	—	—	—	●	●	—	—	—	—	—
5	—	—	—	●	—	—	—	—	●	—	—	—	—	—	—
0	●	—	●	●	●	—	●	●	●	●	●	●	●	●	—
-5	—	●	—	●	—	—	●	●	—	●	●	●	●	—	—
-10	—	—	—	—	—	—	●	●	●	●	●	●	●	●	●
供試樹番号	NS1	NS2	NS3	NS4	NS5	NS6	LW1	LW2	LW3	LW4	LW5	D1	D2	D3	D4
接種後日数 ^{b)}	14	14	14	28	35	42	21 (3)	21 (0)	28 (13)	28 (7)	35 (4)	21 (0)	28 (0)	35 (12)	42 (30)

a) \ : 調査対象なし, ● : 子のう殻検出, — : 非検出

b) 接種から採取までの日数, () 内は病徴発現から採取日までの日数

枯死を確認してから 12 日後 (D3) および 30 日後 (D4) に採取した 2 本は、枯死当日に採取した 2 本 (D1 と D2) と比較して子のう殻が形成される範囲は狭い傾向があった。なお、傷の有無にかかわらず無接種苗木からは

子のう殻形成は確認されなかった。

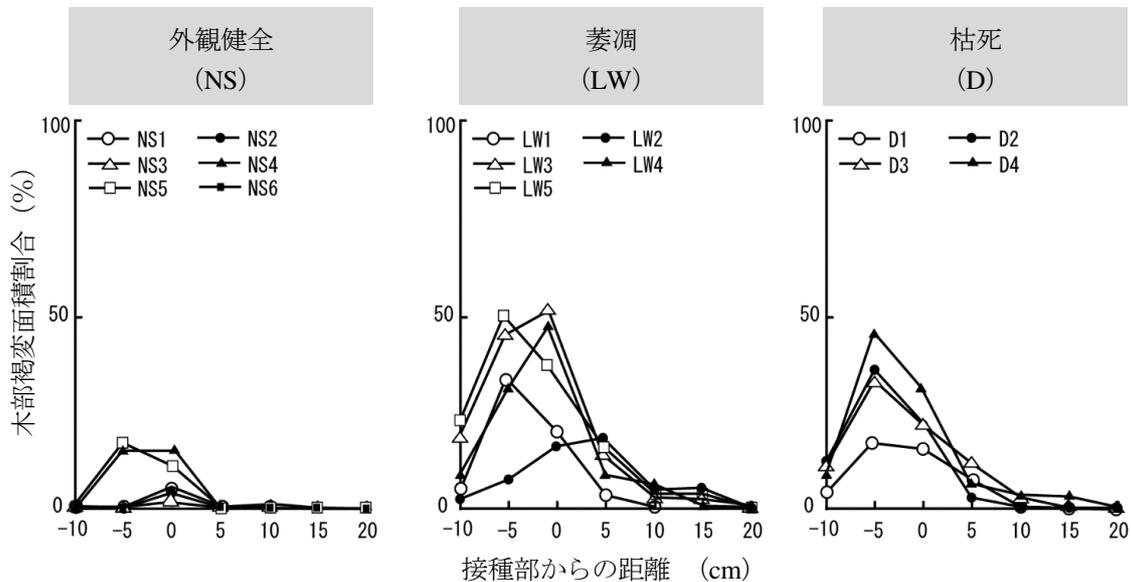


第 2-5 図 酸性フクシン水溶液による木部の染色部位および褐変部位の代表例

☆A と☆B のサンプリング部位は第 2-4 図を参照

内部病徴としての木部褐変範囲の拡大

木部横断面の代表例を第 2-4 図と第 2-5 図に示した。外部病徴の有無に関係なく接種苗木の木部褐変面積割合は、接種部を含めた上下 5 cm の範囲で値が高く、接種部から上下いずれの方向でも 10 cm 離れると値が低い傾向があった (第 2-6 図)。一部の苗木では木部褐変が、接種部から上方 15 cm でも確認された。全ての苗木で接種部より上方 20 cm 以上では褐変が認められず、データの図示を割愛した。本病原菌の子のう殻形成が確認される範囲 (接種部からの距離: 最大 10 cm) では木部褐変が認められたが、試料採取時に本病原菌が確認されなかった範囲もあった。外観健全木の 6 本のうち 4 本 (第 2-6 図-NS1, 2, 3, 6) は、接種部でのみ褐変が確認され、褐変面積割合の最大値は 1.3~6.1 %であった。残りの 2 本 (NS4, 5) は、褐変が確認された範囲が接種部に加えて 5 cm 下方に広がっており、褐変面積割合の最大値は 13.9 と 16.4 %であった。外観健全木では褐変が確認された範囲が上下に広がると褐変面積割合の値が大きくなる傾向が見られた。萎凋木では、外観健全木と比べて褐変が著しく拡大した。褐変範囲は、接種部から下方 10 cm, 上方 15 cm に広がり、木部褐変面積割合の最大値は 16.5~52.4 %であった。枯死木の木部褐変は、萎凋木とほぼ同等の傾向であった。褐変範囲は接種部から下方 10 cm, 上方 15 cm で、木部褐変面積割合の最大値は 21.6~46.9 %であった。なお、有傷無接種苗木の一部で、付傷部でのみ僅かな木部褐変 (面積割合 1 %以下) が観察された。無傷無接種苗木では、いずれの部位においても木部褐変は確認されなかった。

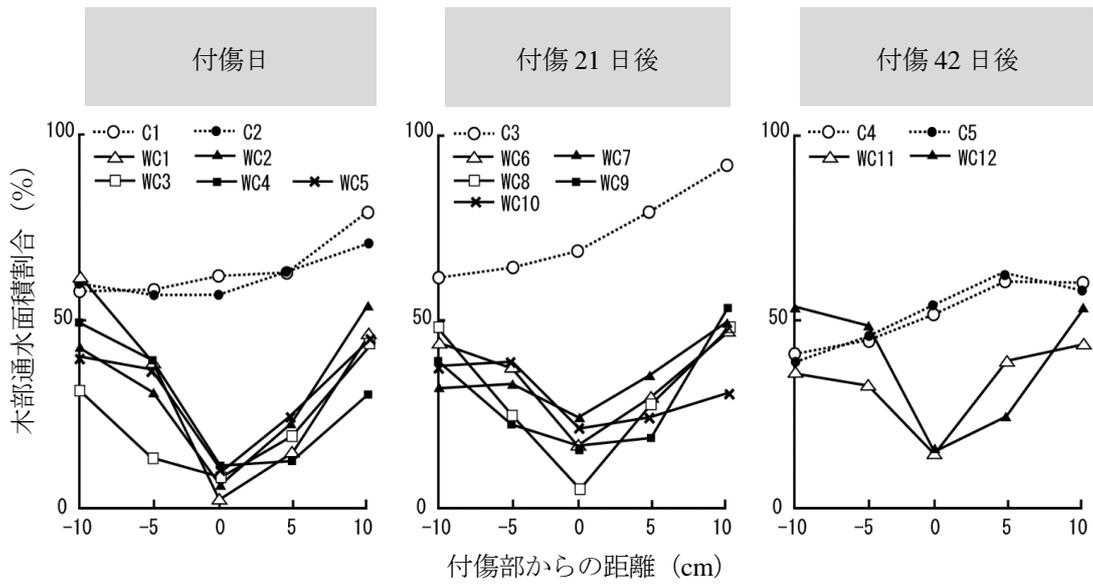


第2-6図 イチジク株枯病菌接種苗における木部での褐変面積の割合

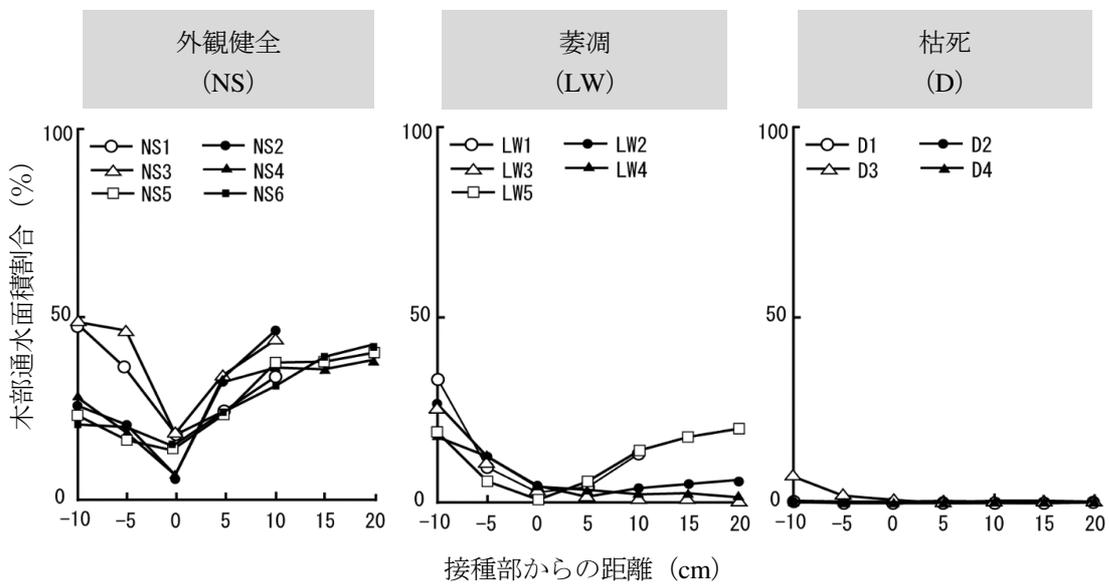
通水面積割合の変化

酸性フクシン水溶液による染色範囲（第2-4図，第2-5図）から算出した通水面積割合の最小値は，無傷無接種苗木では40.8～60.8%であった（第2-7図-C1～5）。有傷無接種苗木の通水面積割合は，付傷部での値が最も低い傾向があり（第2-7図-WC1～12），通水面積割合の最小値は，接種当日3.7～10.8%，21日後6.5～23.0%，42日後16.4と17.1%であった。付傷後に日数の経過した個体では通水が部分的に回復し，通水面積割合が接種日より高い傾向が認められた。有傷無接種苗木では，付傷部の通水面積割合が低くなるものの，調査期間中に萎凋・枯死する苗木は発生しなかった（第2-3図）。

本病原菌接種苗木のうち，外観健全木の通水面積割合（第2-8図）は有傷無接種苗木の付傷日および21日後のグラフ（第2-7図）と類似したパターンを示した。萎凋木（第2-8図）では外観健全木より全般的に通水面積割合の値が小さかった。特に接種部の値が4.6%以下と低かっただけでなく，接種部の上部（5cm, 10cm）の通水面積割合が接種部の下部の値と比較してより低い傾向があった。萎凋開始直後の3本（第2-8図-LW1, 2, 5）は接種部で通水面積割合の最低値を示したが，萎凋開始から日数が経過した苗木2本（第2-8図-LW3, 4）は接種部の上部で通水面積割合が最低値となり，2.4%以下であった。枯死木（第2-8図-D）4本のうち3本（D1, 2, 4）で染色部位は確認されなかった。残りの1本（D3）も接種部の下方で僅かに染色部位が確認されたのみであった。



第 2-7 図 イチジク株枯病菌無接種苗木における酸性フクシン水溶液処理による木部での通水面積の割合 (C: 無傷無接種, WC: 有傷無接種)



第 2-8 図 イチジク株枯病菌接種苗木における酸性フクシン水溶液処理による病徴ごとの木部での通水面積の割合

内部病徴と外部病徴から推測される本病発生の仕組み

本節では、萎凋・枯死に至るまでの内部病徴を経時的に追跡するため、キクイムシの加害を模してイチジク苗木の幹部に本病原菌を有傷接種し、その接種苗木で発現する外部病徴の進展過程に沿って木部での通水状況を中心に解析し、本病による枯死原因が幹部の通水阻害であることを実験的に証明した。

本病原菌を接種した苗木では、菌の分布と褐変の拡大および通水阻害に以下のような関係が見られた。葉の萎凋前で外観が健全な個体では、本病原菌は接種部および上下 5 cm 程度の狭い範囲に分布していた。しかし、萎凋が開始した段階では本病原菌の検出範囲は接種部の上下方向に最大 10 cm まで拡大し、木部の褐変面積割合は外観健全木と比べて著しく拡大していた。酸性フクシン水溶液の吸水による染色面積とあわせて判断すると、萎凋が開始した時期には、通水機能のある範囲が外観健全木より著しく狭くなっていたと考えられる。萎凋開始後には酸性フクシン水溶液による葉の染色が見られなくなったこと、接種部より上部の木部では染色部位がほとんど無くなったことから、主幹部の通水がほぼ停止し、葉に届く水分が著しく減少したことが推測された。なお、葉の有無が通水に及ぼす影響について「蓬莱柿」の挿し木 2 年目の健全クローン苗を用いて実験を行った（森田ら、未発表）。その結果、葉を除いた苗は、葉を除かない苗と比較して染色面積割合に大きな差がないことが示された。このことから、本研究で議論している通水部位（断面積）の減少は、葉の蒸散機能の低下に起因せず、木部の褐変面積の拡大に伴う通水阻害に起因するという判断が妥当である。また、本病原菌を接種せず、傷による通水への影響を確認した試験において、傷をつけた直後の傷近辺の通水面積割合の値が顕著に低かったが、傷の上部では酸性フクシン水溶液による染色範囲は広く保たれ、通水の継続が認められた。この理由として、エゾマツを用いた実験により、物理的な小さな傷の場合、破壊された道管は通水停止するが、根からの吸水に伴う木部樹液の上昇は破壊部位を迂回して上昇していることが知られている（Hillis, 1987）。有傷無接種の苗木では、横断面における通水面積の割合は付傷当日以降にやや回復して通水が継続し、どの個体も萎凋・枯死しなかった。

枯死木で萎凋段階よりも本病原菌の子のう殻形成が確認された範囲が狭くなったことについては、既報のとおり、通水停止によって宿主組織が乾燥して菌の生息に適さなくなったか、あるいは二次的に寄生した生育の早い腐生菌などが優占し、本病原菌の検出が困難になった可能性がある（川口ら、2011）。なお、本病原菌の子のう殻形成が確認されなかった外観健全木 1 個体では接種 42 日後に通水が維持されており、本病原菌が組織内で定着しなかった可能性がある。

木部組織の褐変は、樹木病害において頻繁に観察される現象であり、傷や昆虫、微生物等の活動に対する防御反応の一つとして知られている（Hillis, 1987）。本研究の接種で観察された木部の変色は、虫媒感染を経て萎凋したイチジクの樹幹について Kajii *et al.* (2013) が観察した褐色ないしは黒褐色の変色と同じものであると推測された。この木部組織の褐変という現象によって、感染した菌類が封じ込められることはあるが、Kajii *et al.* (2013) は、本病ではその封じ込め効果は部分的であることやキクイムシの孔道形成によって防御の境界線が破られた事

例を報告した。ブナ科樹木萎凋病（ナラ枯れ）の場合は、媒介昆虫の密な孔道形成によって宿主の防御が木部内で広がり、変色の拡大による通水停止のため大径木が短期間に枯死することが明らかになっている（黒田・山田，1996）。病原菌は異なるが、病徴進展，樹幹内部の変色と通水停止などで，本病とブナ科樹木萎凋病には類似点が認められることが本研究により示された。

本研究で把握した外部病徴と内部病徴の進展状況から，本病原菌接種によりイチジクが枯死する仕組みの概要は以下のように推測される。①接種部を中心に病原菌が分布する範囲が拡大し，木部の褐変が広がる。②木部の褐変が広がると，木部の通導組織では通水停止した部分が増加する。③接種部付近の横断面で通水面積割合が低下すると葉に届く水分量の著しい減少により萎凋症状が表れる。④通水停止の状態が継続することにより，感染木は枯死に至る。なお本研究により，菌の進展範囲は接種部から10cm以内で，梢端を含む広域の分布は確認されなかった。感染への防御反応である木部褐変の範囲も最大15cmであった。このデータから，葉の萎れ，褐変，梢端部の枯死は菌の直接的影響による壊死が原因ではなく，水分通導の減少～停止により発生した可能性が高いことが示された。黒田・山田（1996）により，ナラ枯れで示された萎凋・枯死に至る条件である通水機能の停止が，本試験では接種部付近で発生したものと考えられる。

第2節 アイノクイムシ加害防止技術の開発

第1章で本県におけるクイムシが介在した本病の激害化事例を示した。クイムシの穿入防止対策として，主要な加害部位である地際幹部を中心にMEP乳剤の原液を年2回（4月と7月）処理する方法が確立されている。しかし，媒介昆虫として考えられているクイムシ成虫からの本病原菌の検出や防除適期を特定するために必要なクイムシの発生活長については，福岡県より報告（梶谷，1996；梶谷，1999）されているが，本県を含めて他の府県での調査事例は存在しない。また，クイムシ防除のための登録農薬は一種類しかなく，農薬登録上の使用方法が「散布」ではなく「塗布」に限定されている。このため株元に1樹ずつ薬剤を人力で塗布する作業は，苦痛を伴う長時間の労働が必要となる。作業の煩わしさのため，全く防除を行わない生産者が多数存在し，それらの園で発生したクイムシが火種となって，周辺のイチジク園へ被害が急速に拡大している。このような状況の下，イチジクの生産現場からは「簡易で確実なクイムシ対策」の早期開発が強く求められている。

そこで，本県における防除適期を設定するためクイムシの発生活長を調査した。さらに，クイムシの加害を防止することの重要性を明らかにするため，本県内の産地から得た材料を用いて，クイムシ成虫の本病原菌保持割合や樹幹内での孔道形成時に排出されるフラス（虫糞および木くず）に本病原菌が含まれるかどうかを確認した。加えて，クイムシに対する薬剤の殺虫効果を評価する実験系を開発し（軸丸・森田，2015），既存方法と同等の防除効果を確保しつつ作業性が向上する使用方法の改良を検討した。

1 材料および方法

加害樹からのアイノクイムシの脱出数および発生消長

本県江田島市の圃場でクイムシの穿入が 2008 年に多数確認された「蓬莱柿」(樹齢 15~20 年) 3 本を伐倒し、それぞれの穿入部位を 2009 年 1 月に持ち帰った。江崎 (2002) により開発されたスカート型トラップを改良して直射日光を避けて自然温度条件下で管理し、これらの穿入部位から脱出する成虫数を 2009 年 4~10 月まで調査した。

アイノクイムシの株枯病菌保持割合とフラスの汚染割合

1-1 と同じ本県江田島市のクイムシの加害と本病が多発する圃場から 2009 年 7 月 16 日に、「蓬莱柿」枯死樹を 1 本伐倒し、クイムシが多数穿孔している株元 (高さ約 30 cm, 第 2-9 図 a) を採取した。伐倒時の樹高は約 2 m, 株元直径約 20 cm, 樹齢は 10 年生であった。試料はプラスチック製容器 (25 × 25 × 40 cm) に入れ、クイムシが外部へ脱出しないように 24 メッシュのステンレス製金網で蓋をし、25 °C で管理した。2009 年 8 月 6 日から 9 月 16 日の間に、株元から脱出したクイムシ成虫と孔道から長さ 2~3 cm, 直径約 5 mm の円柱状に突き出したフラス (第 2-9 図 b) から本病原菌の検出を行った。



第 2-9 図 イチジク株元のアイノクイムシによる加害状況

- a) 採取したイチジクの株元
- b) 穿入孔 (右下丸) とフラス (中央丸)

健全な「蓬莱柿」の一年枝 (直径約 2 cm) を長さ約 10 cm に切断し、端から約 1 cm の位置に錐で直径約 5 mm, 深さ約 5 mm の穴を開けた。これらの穴に、クイムシ成虫もしくはフラスを入れ、その後、穴をパラフィルムで覆い、蒸留水で湿らせたティッシュペーパーを入れたビニール袋にこの枝を入れ、25 °C 全暗条件で静置した。水分が直接枝に触れないようにビニール袋の上からティッシュペーパーを輪ゴムで縛った。3 週間培養した後、枝の端から子のう殻が発生するかどうかで本病原菌の有無を確認した。

開発した殺虫効果評価系を用いた有効薬剤の選択

試験方法：藤戸（2015）によりキクイムシの人工飼育法が確立された。そこで、この人工飼育個体群を利用して薬剤の殺虫効果を評価する実験系を考案した。果樹研究部内で採集した「蓬莱柿」の切り枝（長さ 5 cm，直径約 1.8 cm）に，MEP 乳剤の原液を塗布，または MEP 乳剤の 1.5 倍液を散布処理して風乾させた。処理枝もしくは無処理枝は，プラスチックカップ（高さ 12 cm，容積 900 ml）の中央部に 1 本設置した。カップにキクイムシの雌成虫 10 匹を放飼して蓋をした。16 時間明期，8 時間暗期の条件で 25℃に設定したインキュベーターで最終調査日まで管理した。接種には，本県呉市の加害樹から採取し，その後代を人工飼育したキクイムシ雌成虫（名古屋大学より提供）を供試した。

調査内容：殺虫効果について，処理 2 日後のキクイムシの状態を，穿孔（食害），穿入（穿孔が進み，虫体が枝の穴に完全に入っている），徘徊，苦悶（刺激を与えると動き出す），死亡（刺激を与えても動かない）に区分し虫数を調査した。穿孔の深さについては無処理区で死亡虫が初めて確認された処理 15 日後に調査し，食害や穿孔の数および深さを計測した。

改良した使用方法の防除効果と作業性調査

調査区：本県江田島市および尾道市の現地「蓬莱柿」露地圃場（樹齢 8～10 年生）の 2 ヶ所で実施した。既存方法の MEP 乳剤原液塗布を対照薬剤区とし，MEP 乳剤 1.5 倍散布区および無処理区の試験区ごとに 5～9 樹反復で実施した。

処理方法：MEP 乳剤 1.5 倍散布区では背負式バッテリー噴霧器を用いて，地際から約 40 cm 上部までの主幹部に薬液を散布した。薬液が幹を伝い流れ落ちる程度に十分量（約 1 L / 樹）を処理した。対照薬剤区は地際から約 40 cm 上部までの主幹部に刷毛を用いて MEP 乳剤の原液を塗布した。幹表面が露出しないように塗布し，樹あたり約 1 L の処理量であった。

調査方法：薬剤処理時点でキクイムシによる加害のない健全樹を供試樹とした。江田島市圃場では 2014 年 7 月 11 日に，尾道市圃場では 7 月 15 日に薬剤処理した。10 月 28 日の最終調査日まで約 1 ヶ月間隔で，薬剤処理後にフラス（虫糞および木くず）の排出がみられる孔数を樹ごとに調査した。

作業時間（処理薬量）：果樹研究部場内の露地圃場（3 a）で「蓬莱柿」（樹齢 4 年生）22 本を対象に，2010 年 3 月 30 日と 7 月 27 日の 2 回調査した。併せて処理薬量を計測し，10 a あたりに換算して集計した。

2 結果および考察

加害樹からのアイノキクイムシの脱出数および発生消長

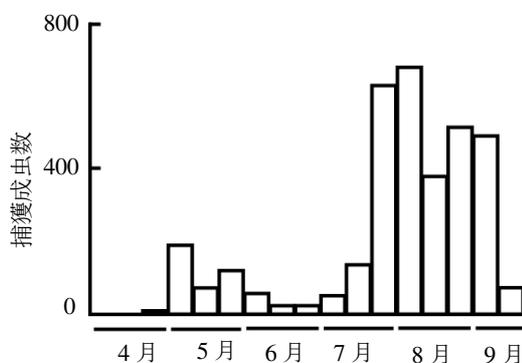
調査の結果，全ての供試樹からキクイムシ成虫が脱出し，樹一本あたり 1,000 頭以上の成虫が脱出した（第 2-2 表）。脱出のピークは，5 月上旬と 8 月上旬の 2 回認められ，脱出数は 5 月より 8 月の方が多かった（第 2-10

図)。脱出時期に関するこれらの知見は、園内にイチジク切り枝を設置してキクイムシの加害時期を調べた梶谷（1999）の結果とほぼ一致した。以上の結果から、条件が整えばキクイムシは爆発的に増加し、このことにより第1章のような本病の激害化につながったと推察された。

第2-2表 イチジク樹体から脱出したアイノキクイムシ成虫総数

樹番号	供試部位	総脱出成虫数 ^{a)}
1	株元幹部＋主枝2本	1,292
2	主枝1本	1,122
3	主枝1本	1,022

a) 2009年4月から9月までの調査合計値
 サンプルはキクイムシの穿孔を多数確認した樹齢15～20年生の「蓬莱柿」由来
 2009年1月に広島県江田島市で採取



第2-10図 アイノキクイムシ成虫の脱出消長

第2-2表の3樹のデータをまとめ経時的に表記

アイノキクイムシの株枯病菌保持割合とフラスの汚染割合

2009年8月10日の実験ではキクイムシ成虫から本病原菌が検出されなかった（第2-3表）。一方、8月21日と9月16日の実験では検出頻度がばらつくものの、キクイムシ成虫が本病原菌を保持していることが示された（第2-3表）。キクイムシの孔道から排出されるフラスでは8月10日および21日の両日とも本病原菌が検出された（第2-4表）。本研究により、本県でもキクイムシが本病原菌を保持していることが証明された。キクイム

シ成虫からの本病原菌の検出は、福岡県について2例目である。加えて本研究で初めてキクイムシの孔道由来のフラスから本病原菌が検出され、地表に落下したフラスによって土壌が汚染される可能性が示された。この点を傍証する事例として、第1-4図においてキクイムシの加害履歴が長くなるのに応じて、本病原菌が検出される土壌の範囲が拡大することが確認されている。

第2-3表 アイノキクイムシ成虫を接種したイチジク切り枝からの株枯病菌の検出状況

接種源	接種日	調査枝数	株枯病菌検出数 ^{a)} (株枯病菌検出率 (%))
成虫	8月10日	4	0 (0)
	8月21日	4	2 (50.0)
	9月16日	20	2 (10.0)

a) 子のう殻形成の有無より検出率を算出

サンプルはキクイムシの穿孔を多数確認した10年生「蓬莱柿」の株元由来
2009年7月に広島県江田島市で採取

第2-4表 アイノキクイムシのフラスを接種したイチジク切り枝からの株枯病菌の検出状況

接種源	接種日	調査枝数	株枯病菌検出数 ^{a)} (株枯病菌検出率 (%))
フラス	8月10日	8	2 (25.0)
	8月21日	19	5 (26.3)

a) 子のう殻形成の有無より検出率を算出

サンプルはキクイムシの穿孔を多数確認した10年生「蓬莱柿」の株元由来
2009年7月に広島県江田島市で採取

改良版アイノキクイムシの穿入防止対策

対照薬剤区および薬剤1.5倍散布区では放飼2日後に全供試虫の死亡が確認されるのに対して、無処理区では14日後まで全ての供試虫が生存し、15日後に初めて死亡虫が確認された(第2-5表)。穿孔の状況について、無処理区では樹皮からの深さが約6mmであり、木部に達していた。薬剤処理した両区とも穿孔の深さが2mm以下であり、樹皮のみ加害され木部まで至る個体はなく、薬剤の原液塗布と1.5倍散布による処理区間に差は認められなかった(第2-6表)。以上のことから、MEP乳剤1.5倍散布は対照のMEP乳剤原液塗布と比較して、ほぼ同等の防除効果があることが示唆された。

第 2-5 表 薬剤の処理方法がアイノキクイムシの殺虫効果に及ぼす影響

供試薬剤	処理方法	倍率	反復	放飼虫数	調査項目				
					虫数				
					穿孔	穿入	徘徊	苦悶	死亡
試験薬剤 ^{a)}			I	10	0	0	0	0	10
MEP乳剤 MEP 1%	散布	1.5倍	II	10	0	0	0	0	10
III			10	0	0	0	0	10	
対照薬剤 ^{a)}					I	10	0	0	0
MEP乳剤 MEP 1%	塗布	原液	II	10	0	0	0	0	10
III			10	0	0	0	0	10	
無処理 ^{b)}			—		I	10	0	9	1
			II	10	0	6	3	0	1
			III	10	0	5	4	0	1

a) 放飼 2 日後の値

b) 無処理区で死亡虫が初めて確認された放飼 15 日後の値

第 2-6 表 試験区別のアイノキクイムシ穿孔状況

供試薬剤	処理方法	倍率	反復	放飼虫数	調査項目		備考
					穿孔数	穿孔の深さ ^{a)} (mm)	
						平均 ± 標準誤差	
試験薬剤			I	10	2	1.5	
MEP乳剤 MEP 1%	散布	1.5倍	II	10	5	1.2 ± 0.2	樹皮のみ食害 木部まで至るものなし
III			10	3	2.0 ± 0.0		
対照薬剤					I	10	
MEP乳剤 MEP 1%	塗布	原液	II	10	3	2.0 ± 0.0	樹皮のみ食害 木部まで至るものなし
III			10	3	1.3 ± 0.4		
無処理			—		I	10	
			II	10	11	5.8 ± 0.9	食害は木部に至る
			III	10	7	6.0 ± 0.9	

a) 無処理区で死亡虫が初めて確認された放飼 15 日後の値

改良した使用方法の防除効果と作業性調査

現地実証調査 2 事例（第 2-7 表，第 2-8 表）において，最終調査日における樹あたりのフラスの排出がみられる孔数から防除効果を判定した。本剤 1.5 倍散布は，対照の本剤原液塗布と比較してほぼ同等の防除効果があった。無散布と比較して防除効果が認められたことから実用性はあると思われる。また，葉，果実ともに薬害は認められなかった。

年間2回の薬剤処理に必要な作業時間と防除経費について、既存の原液塗布と1.5倍散布で比較した値を第2-9表に示した。薬剤1.5倍散布の年間作業時間は14時間/10aで、既存の原液塗布の7.2%となりキクイムシ防除にかかる作業時間を大幅に削減することが可能になった。防除コストについても1.5倍散布は129,000円で、原液塗布の47.1%に削減された。

新たに開発した評価系による室内試験と現地実証試験の結果からMEP乳剤の1.5倍液の主幹部への散布は実用性があると判断した。また、防除を行う際の作業姿勢は、身体的負担が大きい中腰姿勢から自然な立ち姿へと改善が図られる。薬剤1.5倍液散布は既存の原液塗布と同等の防除効果がありながら、従来法より大幅な作業時間の短縮が可能となり普及性が向上した。このため本防除法は、防除を実施しないイチジク園を減少させ、ひいては被害の激害化や広域化の軽減に繋がる有効な手段として期待できる。

第2-7表 現地圃場における薬剤の防除効果 (2014, 広島県江田島市)

供試薬剤	処理方法	倍率	反復	フラスの排出がみられる孔数/ 主幹・主枝部 (地表から約40cm上部まで)				薬害
				7月11日	8月11日	9月10日	10月28日	
				処理前	31日後	61日後	109日後	
試験薬剤 MEP乳剤 MEP 1%	主幹・主枝部への散布	1.5倍	I	0	0	0	0	なし
			II	0	0	0	0	
			III	0	0	0	0	
			IV	0	0	0	0	
			V	0	0	0	0	
対照薬剤 MEP乳剤 MEP 1%	主幹・主枝部への塗布	原液	I	0	0	0	0	なし
			II	0	0	0	0	
			III	0	0	0	0	
			IV	0	0	0	0	
			V	0	0	0	0	
無処理	—	—	I	0	3	3	3	—
			II	0	0	0	0	
			III	0	0	0	0	
			IV	0	0	0	0	
			V	0	0	0	0	
			VI	0	0	0	0	
			VII	0	5	5	23	

第2-8表 現地圃場における薬剤の防除効果 (2014, 広島県尾道市)

供試薬剤	処理方法	倍率	反復	フラスの排出がみられる孔数/ 主幹・主枝部 (地表から約40cm上部まで)				薬害
				7月15日	8月11日	9月12日	10月28日	
				処理前	27日後	59日後	105日後	
試験薬剤 MEP乳剤 MEP 1%	主幹・主枝部への散布	1.5倍	I	0	0	0	0	なし
			II	0	0	0	0	
			III	0	0	0	0	
			IV	0	0	0	0	
			V	0	0	0	0	
対照薬剤 MEP乳剤 MEP 1%	主幹・主枝部への塗布	原液	I	0	0	0	0	なし
			II	0	0	0	0	
			III	0	0	0	0	
			IV	0	0	0	0	
			V	0	0	0	0	
無処理	—	—	I	0	0	0	0	—
			II	0	0	0	0	
			III	0	0	0	0	
			IV	0	0	0	0	
			V	0	0	0	0	
			VI	0	0	0	0	
			VII	0	0	0	0	
VIII ^{a)}	0	0	0	7				

a) 同一地域内で近隣する圃場での加害樹 (防除等の管理は試験圃場と同一)

第2-9表 農薬使用方法改良によるアイノキクイムシ防除の作業時間およびコストの削減効果 (10 a /年)

内容	既存の防除技術 薬剤原液塗布	改良後の防除技術 薬剤1.5倍散布	対既存技術比
作業時間 農薬処理 (年2回)	194 時間	14 時間	7.2%
内訳			
春季 (4月中旬)	65 時間	4 時間	
夏季 (7月上旬)	129 時間	10 時間	
防除経費	274,000 円	129,000 円	47.1%
内訳			
人件費 ^{a)}	194,000 円	14,000 円	
農薬費	80,000 円	80,000 円	
散布器具 (1台) ^{b)}		35,000 円	

a) 人件費は1時間あたり1,000円として計算

b) 10Lの背負式バッテリー動噴 (初年度の購入費用)

第3章 土壌由来の感染に伴う病徴発現の解析と防除方法の開発

第1節 株枯病発生地に定植したイチジク苗木に対する株枯病菌の初期感染時期の推定

汚染土壌を対象とした本病防除方法の一つとして、薬剤の土壌灌注処理が知られている。1990年代には、本病への早急な登録取得を目指して複数の試験研究機関が協力し、トリフルミゾール水和剤などが登録拡大された（外側ら、1999）。薬剤の土壌灌注処理に関して、これまで定植時およびその後の処理の必要性を指摘した報告があり（例えば清水ら、1999）、それに基づく指導も実施されている。しかしながら、定植時からの灌注処理の必要性について根拠を明示した報告は存在しない。加えて、薬剤灌注処理の開始時期に関する問い合わせが、イチジク生産者から頻繁に寄せられる（森田、未発表）。これらのことから、薬剤の土壌灌注処理方法は生産現場で十分に理解されていないのが実状である。

土壌経由の感染について、定植後の萎凋・枯死木の発生を年単位でまとめたデータは存在する（例えば Hosomi *et al.*, 2012）が、定植当年に数週間単位で感染状況を追跡した事例は存在しない。汚染土壌に定植した苗木の初期感染状況が把握できれば、本病の発生生態が明らかになるとともに、定植時からの灌注処理の重要性をその根拠と共に示すことができる。

そこで、本研究ではイチジク苗木を本病発生圃場に定植し、その2ヶ月後から約2週間間隔で苗木を採取・解体し、本病原菌の初期感染時期を調べた。また、これらの苗木と由来、定植日および定植場所が同じ苗木を、定植後6年目まで継続して観察する処理区を設け、防除対策を全く実施しない条件における本病の発生状況を把握した。これらの結果に基づき、本病の初期感染時期を推定するとともに、汚染土壌への定植時から薬剤の土壌灌注処理を開始する必要性についてイチジク生産者に対して改めて提案する。

1 材料および方法

供試苗

「蓬萊柿」と「柘井ドーフィン」を供試した。2008年2月に剪定した一年枝を、挿穂として使用するまでの間約5℃で冷蔵保存した。これらの一年枝を2008年4月に長さ約15cmに切断し、ポット内に充填した培地（ハイポネックス®培養土）に挿し木した。その後、本病が発生していない当研究部の無加温ハウス内で定植日まで管理し、苗木を生育させた。定植時の供試苗の枝長は平均68.2cmであり、挿し木後約1年経過したクローン苗であった。

調査地および定植本数

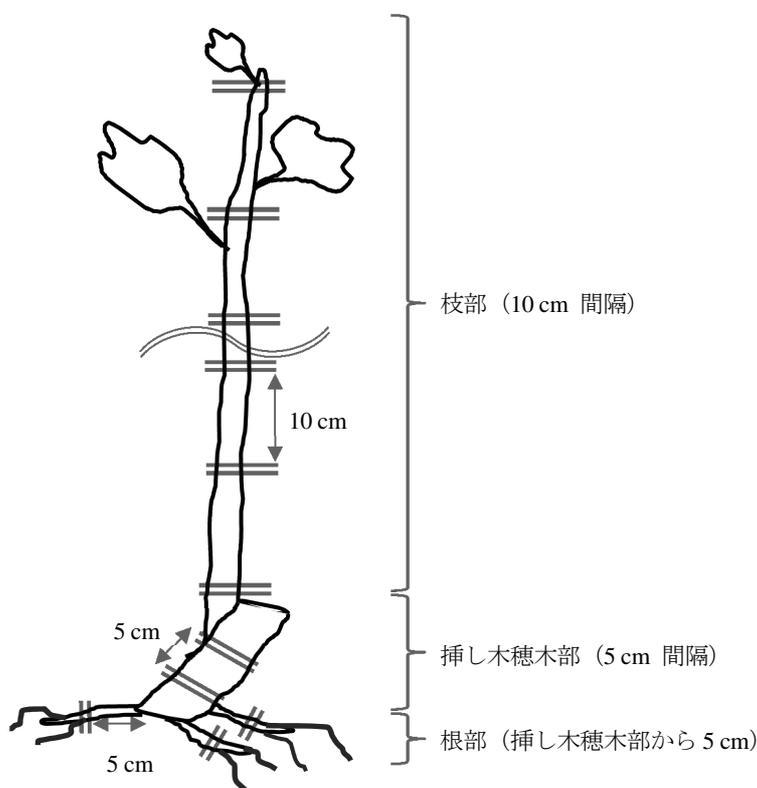
第1章で調査を行った本県西部に位置する呉市安浦町のイチジク圃場では2008年の夏季に本病によって「蓬

菜柿」5 樹が枯死し、同じ年の冬季に抜根していた。このような履歴の同一圃場の株跡を 5 地点使用した。本病の菌密度を均一化するため、抜根した発病樹の株跡を中心として 1 m 四方（深さ 30 cm）の土壌を各々の地点内で実験前にシャベルで混和した。また、混和後の土壌を回収し、梶谷（1995）の方法により本病原菌による汚染土壌であることを確認した。2009 年 3 月 14 日に、「蓬菜柿」25 本（5 地点に各 5 本）、「柘井ドーフィン」45 本（5 地点に各 9 本）を定植した。

定植から約半年間の苗木感染状況調査

定植した苗木の中で、「蓬菜柿」18 本と「柘井ドーフィン」28 本を用いた。定植当年の感染状況を調査するため、定植後 69 日、83 日、97 日、111 日、125 日、136 日、150 日および 171 日の合計 8 時期に苗木の根部を含めて採取した。採取苗木は、根部に付着した土壌を水道水で洗い流した。97 日までの 3 時期は両品種 1 本、その後 171 日までの 5 時期は両品種各 5 本（各地点 1 本）を基本に採取した。なお、「蓬菜柿」については供試苗木本数の都合から、定植後 125 日と 150 日の 2 時期は採取しなかった。

採取した苗木の感染状況を調べるため、次の手順でサンプルを分割した（第 3-1 図）。根部は太い順に 3 本を選び穂木から先端方向に 5 cm の部位を採取した。挿し木をした穂木部は上下方向に 5 cm 間隔で 3 つの部位に分割した。枝部は上下方向に 10 cm 間隔で先端まで分割した。



第 3-1 図 株枯病汚染土壌に定植したイチジク苗木からのサンプリング部位

本病の代表的な内部病徴とされる木部横断面の褐変の有無を試料採取時に目視で確認した。その後、各組織は表面が乾燥して一部が焦げる程度火炎殺菌し、滅菌水で浸漬したティッシュペーパーを入れたポリエチレン製袋で密封した。この袋を 25℃の湿潤条件で 30 日間静置し、期間内に各組織の断片上に形成される子う殻の有無により本病原菌の存在を判別した。対象とした苗木の調査部位で 1 ヶ所でも本病原菌が検出された場合、感染苗木とみなし、発生割合を品種別に集計した。

定植後 6 年間における枯死の発生状況調査

定植した苗木の中で、「蓬莱柿」7 本と「榊井ドーフィン」17 本を用いた。全ての葉が褐色に変化した状態を枯死と定義した。枯死木が発生しやすい時期として知られる春と秋（外側ら，1999）を中心に肉眼観察し、各調査年の 11 月までに確認した枯死木数を集計して累積枯死率を算出した。枯死樹は地際幹部を回収し、木部横断面に形成される褐変と 25℃湿潤状態に保った後に木部に形成される子う殻から本病原菌の存在を確認した。

2 結果および考察

定植後約半年以内の苗木の感染状況

定植 69 日後、83 日後の苗木抜根採取調査時には、萎凋や枯死などの外部病徴が観察された苗木は存在しなかった。両品種とも定植 97 日後に感染苗木が初めて確認された（第 3-1 表，第 3-2 表）。以降の調査日毎の感染苗木率は、「蓬莱柿」では 60～80 %，「榊井ドーフィン」では 80～100 % となり、両品種とも高く推移した。本病特有の内部病徴である木部褐変が観察された苗木数は、「蓬莱柿」で 18 本の内 4 本，「榊井ドーフィン」で 28 本の内 1 本であった。97 日目までの供試本数がそれぞれの品種で 1 本であったことや、比較的感染率の低い定植地点Ⅱの苗木を 83 日後に調査していることから、97 日以前の感染について再度調査を実施し、より詳細に初期感染時期を推定する必要がある。

供試苗木によっては調査部位間で連続して本病原菌が検出されない場合もみられた。この現象は、清水ら（2008）が行った遺伝子診断法を用いた本病原菌の検出結果と類似している。本試験においても、清水ら（2008）と同様にその原因は不明であった。

第3-1表 株枯病汚染土壤に定植したイチジク苗木「蓬萊柿」への感染状況（2009年3月14日定植）^{a)}

苗木抜根採取日 (定植後からの日数)	5/22 (69)	6/5 (83)	6/19 (97)	7/3 (111)					7/28 (136)					9/1 (171)				
調査地点番号	I	II	III	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
供試苗番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
枝部																		
70 ~ 80	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
60 ~ 70	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
50 ~ 60	—	—	—	—	—	—	●	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
40 ~ 50	—	—	—	—	—	—	●	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
30 ~ 40	—	—	—	—	—	—	●	—	—	—	—	●	—	—	—	—	—	—
20 ~ 30	—	—	—	—	—	—	●	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10 ~ 20	—	—	—	—	—	—	●	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0 ~ 10	—	—	—	—	—	—	●	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
挿し木																		
10 ~ 15	—	—	—	—	—	—	●	—	—	—	●	●	—	—	—	—	—	—
5 ~ 10	—	—	—	—	—	—	●	●	■	■	●	●	—	—	—	—	—	—
0 ~ 5	—	—	—	●	—	—	●	—	■	■	●	●	—	●	—	—	—	●
根部 ^{b)}																		
0 ~ 5	—	—	—	●	—	—	●	—	■	■	●	●	—	—	—	—	—	—
0 ~ 5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0 ~ 5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
感染苗木割合	0%	0%	100%	60%					80%					80%				

a) —：株枯病菌および木部褐変とも確認されなかった部位，空欄：調査対象なし

b) 太い順に3本を選び，挿し木穂木の発根基部0 cm から5 cm の部位

●：株枯病菌の検出部位，■：木部褐変が確認された部位

第3-2表 株枯病汚染土壤に定植したイチジク苗木「柘井ドーフィン」への感染状況（2009年3月14日定植）^{a)}

苗木抜根採取日 (定植後からの日数)	5/22 (69)	6/5 (83)	6/19 (97)	7/3 (111)					7/17 (125)					7/28 (136)					8/11 (150)					9/1 (171)				
調査地点番号	I	II	III	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
供試苗番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
枝部																												
70 ~ 80	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
60 ~ 70	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
50 ~ 60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	●	—	—	—	●	—	—	—	—	—	—	—	—
40 ~ 50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	●	—	●	—	—	—	—	●	—	—	—	—	—	—	—	—
30 ~ 40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	●	●	—	—	—	—	●	●	—	—	—	—	—	—	—
20 ~ 30	—	—	—	—	—	●	—	—	●	—	—	—	—	●	●	—	—	—	—	●	●	—	—	—	—	—	—	—
10 ~ 20	—	—	—	—	—	●	—	—	—	—	—	—	—	●	●	—	—	—	—	●	●	—	—	—	—	—	—	—
0 ~ 10	—	—	—	—	—	●	—	—	—	—	—	—	—	●	●	—	—	—	—	●	●	—	—	—	—	—	—	—
挿し木																												
10 ~ 15	—	—	—	—	—	●	●	—	●	●	●	●	—	●	●	●	●	—	●	●	—	—	●	—	—	—	—	—
5 ~ 10	—	—	—	—	—	●	●	●	●	●	●	—	—	●	●	●	—	—	●	●	●	—	—	●	—	—	—	—
0 ~ 5	—	—	—	—	—	●	●	●	●	—	●	●	●	—	●	●	●	—	●	●	●	—	—	●	●	●	●	—
根部 ^{b)}																												
0 ~ 5	—	—	—	●	—	—	—	—	●	●	—	—	—	●	●	—	—	—	—	●	●	—	—	—	—	—	—	—
0 ~ 5	—	—	—	—	—	●	●	●	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0 ~ 5	—	—	—	—	—	●	●	●	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
感染苗木割合	0%	0%	100%	80%					100%					100%					100%					80%				

a) —：株枯病菌および木部褐変とも確認されなかった部位，空欄：調査対象なし

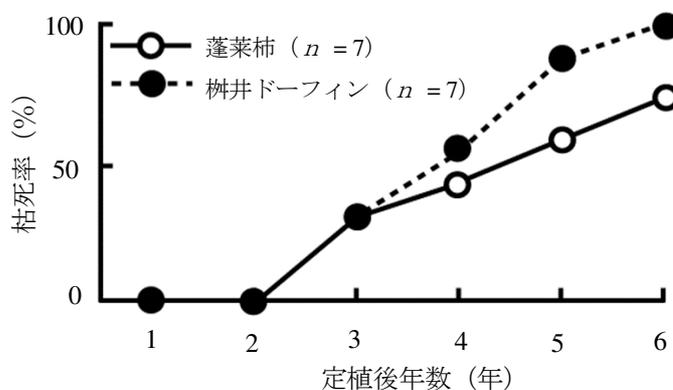
b) 太い順に3本を選び，挿し木穂木の発根基部0 cm から5 cm の部位

●：株枯病菌の検出部位，■：木部褐変が確認された部位

発生地への定植後 6 年目までの累積枯死率の推移

両品種とも 3 年目に初めて苗木の枯死が確認された (第 3-2 図)。その後、両品種とも累積枯死率が徐々に増加し、調査終了時点 (定植後 6 年目 : 2014 年 11 月) で「蓬萊柿」は 71 %、「榊井ドーフィン」は 100 %に達した。このことから、本病発生地イチジク苗木を定植しても 2 年間は萎凋・枯死などの外部病徴が発現しないことが確認された。この結果は枯死樹の発生時期や最終的な枯死率に違いがあるものの、定植年には枯死樹が発生せず、その後、徐々に枯死率が上昇する点で「榊井ドーフィン」を用いた報告 (Hosomi *et al.*, 2012) とほぼ同様の傾向であった。なお、全ての苗木の枯死原因は本病であった。

本研究により、「蓬萊柿」および「榊井ドーフィン」の苗木を本病汚染土壌に定植すると、定植当年に感染が成立していることが明らかになった。また、定植当年に感染が成立している場合であっても、苗木には外部病徴は発現せず、今回の調査事例では定植 3 年目から苗木が枯死することも示された。これらの結果から、苗木への感染防止を目的とした薬剤の土壌灌注処理は定植時から開始し、萎凋や枯死が発生しない外観健全な期間も継続して実施する必要性が改めて示唆された。



第 3-2 図 株枯病汚染土壌に定植したイチジク苗木の累積枯死率の推移

第2節 土壌由来の感染に伴う病徴発現の解析

株枯病汚染土壌へ定植した後に自然発病したイチジク「蓬莱柿」における外部および内部病徴の観察事例

本病は萎凋性病害として認識されているが、これまでは、病徴進展に関する情報は断片的にしか報告されていない。果樹病害の場合、野菜や花卉等に比べて個体のサイズが大きく、感染から病徴発現まで時間がかかり、どこから感染して、いつどの様に発病しているのかが分かり難いのが実状である。このため、樹体の衰弱・枯死のような顕著なイベント後に調査を行う事例が多く、病徴発現に至るプロセスは衰弱・枯死した個体の状況から遡って類推することが多い。

我が国で経済栽培されている主要なイチジク品種は「柘井ドーフィン」と「蓬莱柿」であるが、病徴進展に関して「柘井ドーフィン」を対象とした知見が多く報告されている（加藤ら，1982；向島ら，1997；外側，1996；外側ら，1999）が、「蓬莱柿」を対象とした知見は少ない。

新田ら（2005）や森田ら（2012b）は「蓬莱柿」を対象とした報告をしているが、これらはキクイムシが介在した病徴進展事例であり、土壌経由の感染ではない。森田ら（2015）は汚染土壌に定植した「蓬莱柿」と「柘井ドーフィン」の苗木の病徴進展を調査し、定植年の内部病徴の変化と6年目までの累積枯死率を明らかにした。しかしながら、それ以降の枯死率の変化は未報告である。「蓬莱柿」の栽培を振興する県として、本病の発生を経験していない生産者や新規に栽培を始める生産者、現地指導者に対して本病の深刻さを本県のデータをもとに説明する必要がある。

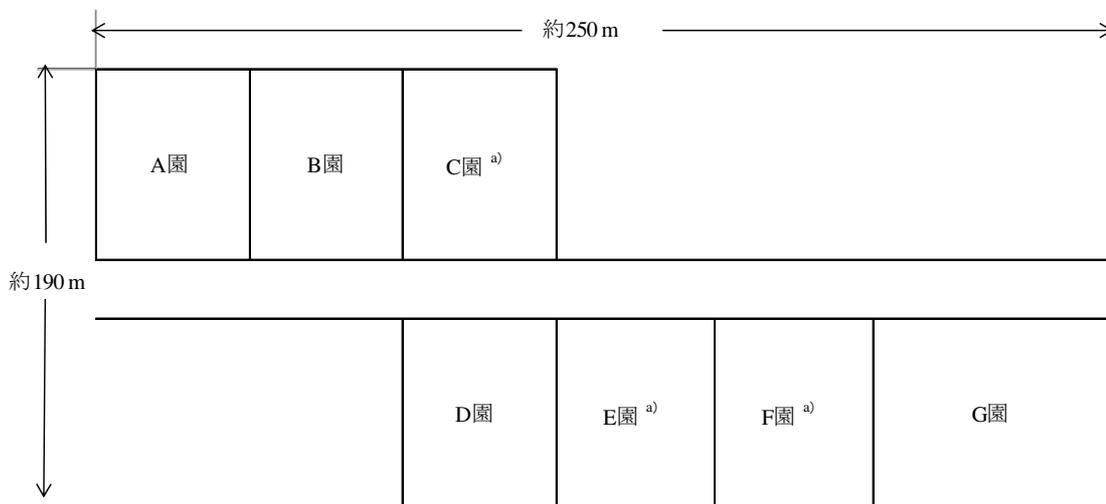
ここでは本県内の本病汚染圃場に定植された「蓬莱柿」を対象に継時的な調査を行い、定植3～4年目の外部病徴とその内部病徴の関係、定植後10年間の累積枯死率を明らかにし、「蓬莱柿」に対する従来の知見と合わせて本病の病徴進展に関する情報の再整理を行う。

1 材料および方法

調査対象地域の履歴

第1章と同様、本県西部に位置する呉市安浦町で調査を行った。この地域ではイチジクの「蓬莱柿」が栽培され、新田ら（2005）によってキクイムシが関与した本病によるイチジクの集団枯死が2004年に確認されている。露地およびハウス条件の7圃場よりなるこの地域では当時、欠株率が1割に達し、広範囲の土壌が本病原菌に汚染された。キクイムシによる新たな被害を阻止する目的で加害樹や枯死樹を2004年の冬季に一律に伐採した。本病原菌に汚染された土壌へ2005年の春季に各圃場数十本規模で「蓬莱柿」が改植された。本調査を開始した際には3圃場が放任され、4圃場のみでイチジクの経済栽培が継続されていた（第3-3図）。なお、「蓬莱柿」は

開心自然形に仕立てるのが一般的であるが、本地域では例外的に一文字整枝で栽培している。改植樹にはキクイムシの加害を防止する目的で MEP 乳剤の塗布が徹底された。このため、今回の調査対象樹にはキクイムシの被害は確認されていない。



第 3-3 図 調査対象地域における圃場の位置関係 (2017 年, 広島県呉市安浦町)

a) 2004 年 (第 1-1 図) ではイチジク栽培園であったが, 2017 年の時点で栽培実態のない園を示す

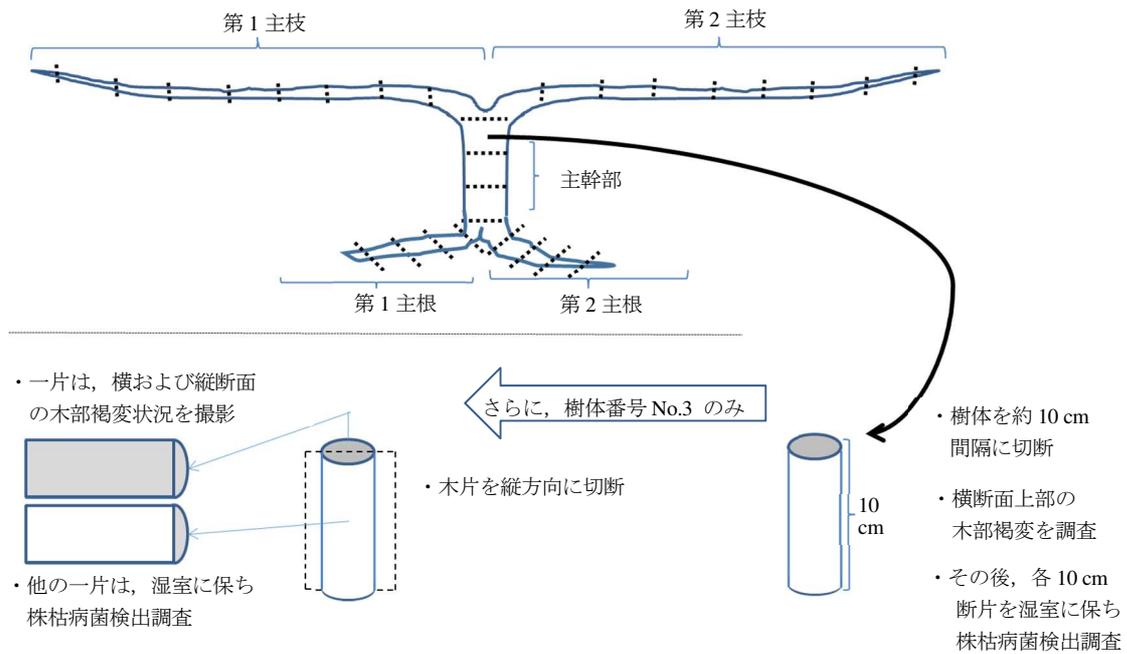
外部病徴の調査

外部病徴の調査は, 新田ら (2005) が示した B 園において, 2004 年の冬季に枯死樹を地際で伐採し, 2005 年の春季に株間へ定植した 13 樹を対象に 2005~2015 年の 10 年間, 約 1 ヶ月間隔で実施した。

内部病徴の調査

内部病徴の調査は, 同地域の B 園, D 園および G 園で 2004 年の冬季に枯死樹を抜根した跡地 (もしくは株間) へ 2005 年の春季に定植した 9 樹を対象に実施した。2008 年 2 月に定植 3 年目の 1 樹を, 2008 年 11 月には定植 4 年目の 8 樹をそれぞれ調査した。対象樹は抜根して当研究部に持ち帰り, 主枝, 主幹部, 根部 (幹部から 30 cm まで) を約 10 cm 間隔で切断した (第 3-4 図)。切断に伴う人為的な感染を回避するため, 70 %アルコールで洗浄した鋸や鉋を切断部位ごとに取り換えて使用した。これらの木片の横断面を肉眼で観察し, 木部褐変の有無を確認した。なお 2008 年 2 月の試料は, 10 cm 木片をさらに上下方向に二分して縦断面の褐変状況を確認した。本病原菌の検出範囲を調査するため, 褐変観察後の木片は, 個別にビニール袋に入れて 25 °C の全暗条件で 2~3 週間静置し, 本病原菌の特徴的な形態である子のう殻の形成の有無を調査した。

内部病徴と外部病徴の進展を関連付けて解析するため, 外部病徴を 1) 葉の萎れや幹部病斑はないが新梢の節間長がやや短く, 収穫果実が小玉傾向で園主が改植を決断した 2 樹, 2) 夏季に葉の萎凋や黄変が見られたが枯死には至らなかった 4 樹, 3) 夏季に枯死し乾燥した状態の 3 樹, 以上の 3 種類に分類して結果を取りまとめた。



第 3-4 図 内部病徴観察の手順（破線は切断部位、あるいは切断面を示す）

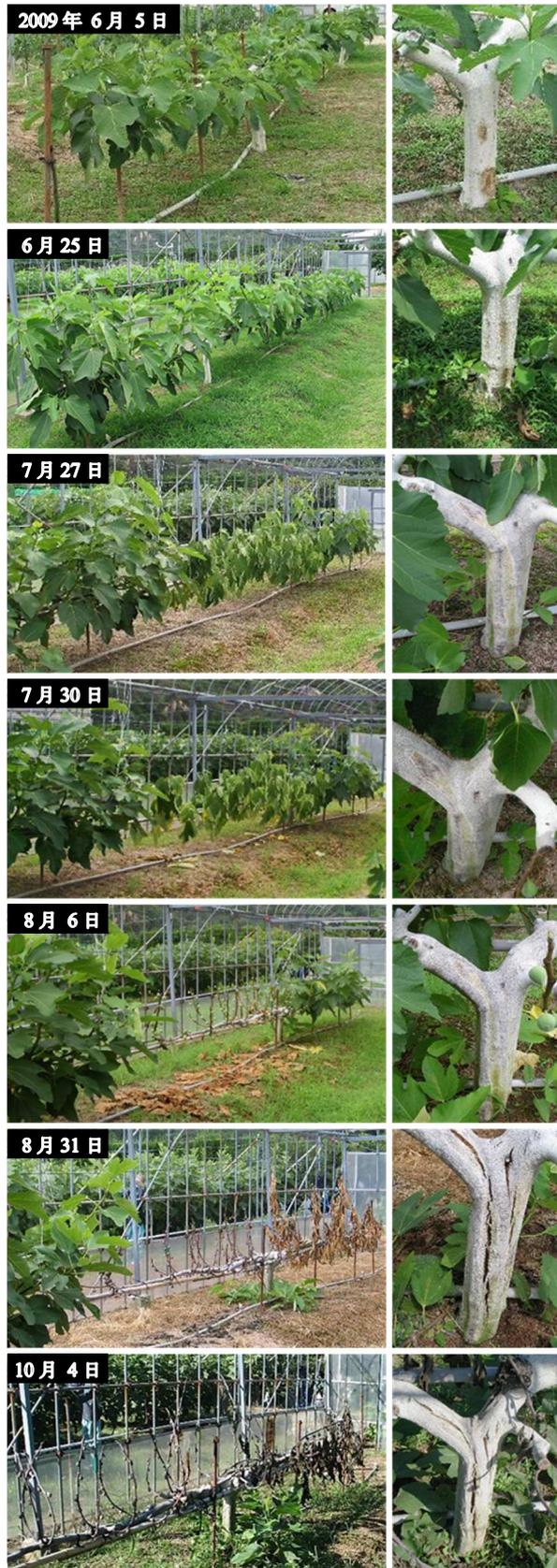
2 結果および考察

外部病徴

外部病徴進展の代表例として、定植5年目の夏季に枯死した個体を連続観察した事例を説明する(第3-5図)。
2009年6月5日には、この個体の地際近くの主幹部表皮に変色が認められるが、新梢伸長など生育状況は周辺樹と大きな差はなかった。6月25日には、周辺樹より新梢伸長量が劣り生育の抑制が認められた。また主幹部表皮の変色が継続確認された。7月27日には一文字整枝の片側の主枝の葉に軽度の萎凋症状が認められた。主幹部の変色部位が上下に繋がり、その変色部位に沿って縦長の窪みが生じた。7月30日には片側の主枝の葉の萎凋症状が進み、葉が黄変し落葉も確認された。8月6日には片側の主枝で幼果を残して全ての葉が落下し、反対側の主枝の葉に軽度の萎凋症状が認められた。8月31日には、最初に萎凋した主枝から発生した枝は手で折れる程度にまで乾燥した。反対側の主枝の葉は枝に着生したまま乾燥し、萎凋症状を確認してから約1ヶ月後に樹全体が枯死した。主幹部の縦方向に形成された窪み部分に、主枝の基部まで達する亀裂が生じた。10月4日には主幹部や主枝の亀裂が更に深まり、樹体全体が極度の乾燥状態であった。しかし、地際部からひこばえが発生していることから、地際部より下の部位は生存していた。

本病汚染土壌に定植した「蓬萊柿」13樹の外部病徴を10年間調査した結果、定植2年目に初めて2樹の枯死が確認された。枯死樹は定植3~5年目に多く発生し、その後も増加して10年目には11樹が枯死し、累積枯死率が85%に達した(第3-6図)。森田ら(2015)は本病汚染土壌に定植した苗木への感染試験において、同じ条件のB園に「柘井ドーフィン」と「蓬萊柿」の苗木を定植し、防除対策を施さない条件で両品種の枯死率を調査したところ、定植6年後に「柘井ドーフィン」が全て枯死し、「蓬萊柿」の枯死率が71%に達したことを確認した。本試験結果と併せて評価すると、「蓬萊柿」についても定植から10年後には約9割が枯死することが明らかになり、本病に汚染された圃場では、両栽培品種ともに生産を断念せざる得ない程の重篤な被害が発生することが改めて確認された。

「蓬萊柿」の樹体枯死が発生した時期は、定植3年目の1樹が発芽直後の春季であり、それ以外の12樹は梅雨明け後の降雨量が少なくなる8~9月であった。「柘井ドーフィン」での外部病徴は春から秋に発現し、7~8月に多いことが知られている(向畠ら, 1997; 外側ら, 1999)。本報における「蓬萊柿」の事例は調査本数が少ないものの、発病時期が「柘井ドーフィン」とほぼ一致していた。森田ら(2016)により、本病は萎凋性病害であることが示されている。このため、梅雨明け後の乾燥ストレスのかかりやすい時期に病徴が顕在化することは本病の発生メカニズムから判断して妥当と考えられる。今後、調査事例数を重ねて、乾燥ストレスと本病の病徴発現の関係を解明することが望ましい。



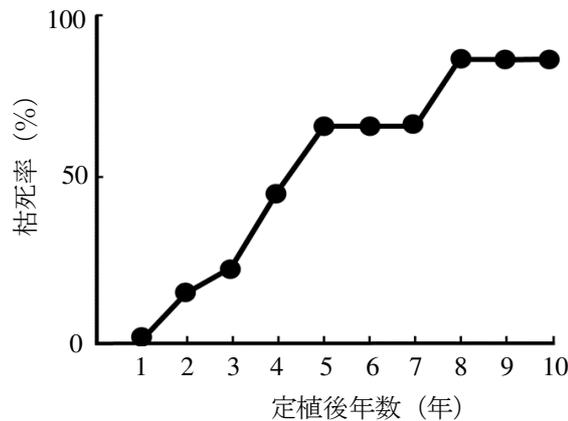
第3-5図 株枯病汚染土壤に定植した「蓬萊柿」の外部病徴の推移

調査年次および園地番号：汚染土壤に定植し5年目（2009年）のB園

左列：地上部樹体の全体像

右列：主幹部の拡大

アイノキクイムシの加害を防止する殺虫剤を塗布しており樹体が白く見える



第 3-6 図 株枯病汚染土壌に定植したイチジク苗木の累積枯死率の推移

定植：2005 年 2 月

供試品種および本数：「蓬莱柿」13 樹

供試樹：アイノキクイムシによる加害なし

内部病徴

生育期間中に新梢伸長が劣り、夏季に葉の萎れや変色がみられたものの枯死には至らなかった改植から 3 年目の D 園の 1 樹について、樹全体の木部褐変状況を第 3-7 図に示した。木部褐変は、主幹部の地際部位において横断面（水平方向）のほぼ全体に広がり、地際部位を中心に上下方向に広がって、上部は主枝分岐部位まで連続し、下部は主幹と根部の分岐部まで拡大して根部への広がりには少なかった。また、主枝部位では褐変が不連続に確認された。これまでも木部横断面の褐変状況を示した画像データは存在するが、調査が困難な木部縦断面の褐変状況は、イメージ図や文言により説明されてきた（例えば、梶谷，1998；梶谷，2001；清水ら，1999）。本報は樹全体の木部縦断面の画像データを用いて本病による褐変状況を説明した初めての事例である。

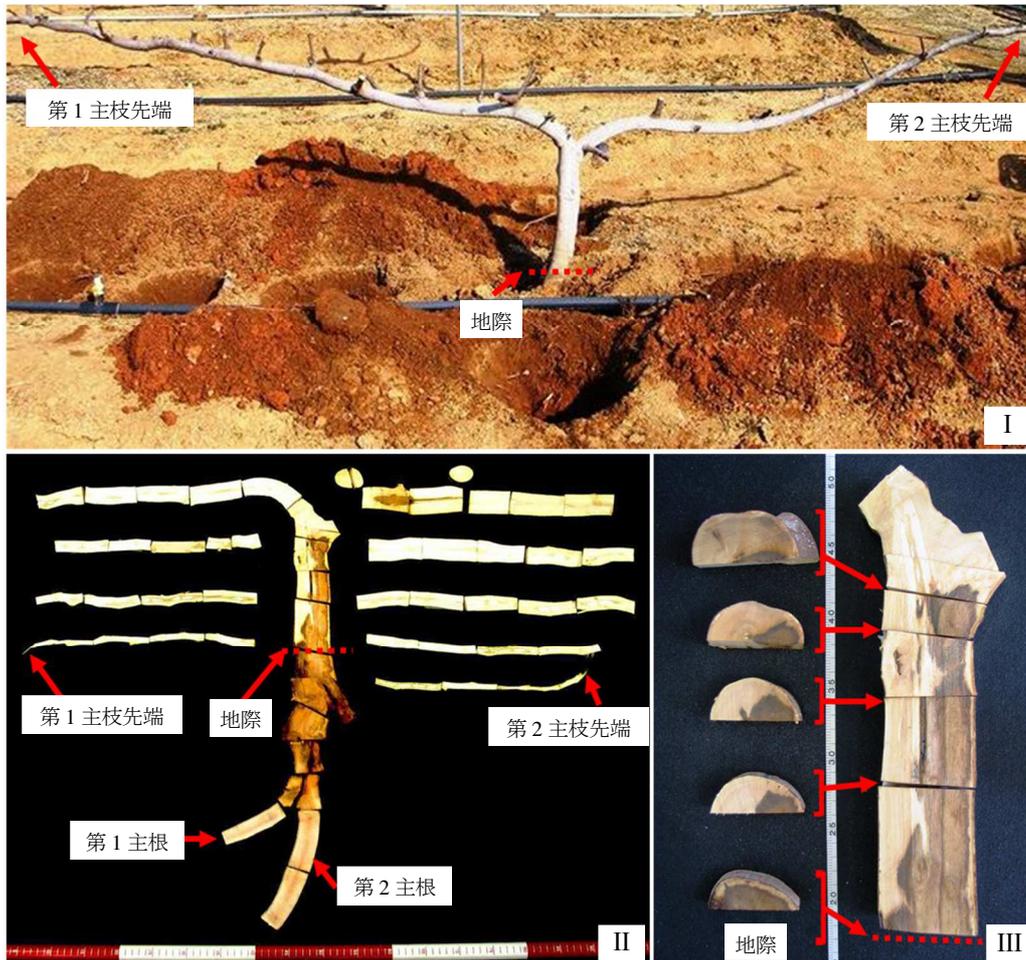
解体調査時点の外部病徴別に本病原菌の検出と木部褐変部位の状況をまとめ、第 3-3 表に示した。周辺樹より新梢の節間長がやや短く、収穫果実が小玉傾向ではあるものの葉の萎れや主幹部病斑等の外部病徴のない 2 樹では、木部褐変は観察されないが、樹体の広い範囲から本病原菌が検出された。夏季に葉の萎凋や黄変が見られたが、枯死には至っていない 4 樹では、幹部や主枝部の褐変が確認され、樹体の広い範囲から本病原菌が検出された。夏季に枯死し、乾燥した状態の 3 樹は、主幹部地際の褐変は認められるが、樹体からは本病原菌が検出されなかった。

褐変部位に加えて、それらの先端方向に位置し、木部変色が認められない部分から本病原菌が検出されることから、木部褐変部より広い範囲に本病原菌が存在していることが示された。これまでに発病部位の地際部から 1 m 以上離れた枝部から本病原菌が検出されることや、肉眼では健全に見える部位も含めて本病原菌が樹体内に

広く分布することが知られている（梶谷， 1998； 梶谷， 2001； 清水ら， 1999）。また，不連続に本病原菌が検出される現象については，これまでも接種試験で確認されている（森田ら， 2015； 清水ら， 2008）。樹体内の菌分布を高い精度で検出できる定性および定量 PCR 法が開発され，抵抗性台木の選抜に活用されている（三好ら， 2011； 清水ら， 2008）が，本病原菌が樹体内を広く移動する仕組みは明らかではない。感染の生理や生態に関するアプローチにより樹体内での本病原菌の動態が明らかになれば，今後，これらの現象が解明されるかもしれない。

第 3-3 表の調査樹 No.3, 7, 8 および 9 で認められたように，木部褐変が激しい部位から本病原菌が検出されない場合も多い。この理由として川口ら（2011）が示した，乾燥または他の雑菌が繁殖して，本病原菌が検出されにくくなったものと考えられた。

森田ら（2016）は，イチジク苗木の幹部に本病原菌を有傷接種し，その後，枯死する仕組みを以下のように推測している。①接種部を中心に本病原菌が分布する範囲が拡大し，木部の褐変が広がる。②木部の褐変が広がると，木部の通導組織では通水停止した部分が増加する。③接種部付近の横断面で通水面積割合が低下すると葉に届く水分量の著しい減少により萎凋症状が表れる。④通水停止の状態が継続することにより，感染樹は枯死に至る。従来より，本病の主要な感染部位が地際部であるとされているが，その根拠となるデータは乏しかった。木部の褐変は，病原体の感染等に対して宿主樹体内で起こる防御反応として知られ，二次代謝物が組織内に蓄積して発現することが説明されている（Hillis, 1987）。第 3-3 表において，病徴が進展し，萎凋や枯死に至った樹体（No.3～9）では，例外なく地際部位付近で木部褐変が観察された。また，地際から離れるに従い木部褐変の発生頻度は減少した。同様の傾向が第 3-7 図で示した樹体の縦断面画像からも観察された。これらの結果より，地際部付近が本病の主要な感染部位であると推測された。また本病汚染土壌で防除対策を施さず栽培品種の「蓬莱柿」を自根で栽植した場合には，10 年後に約 9 割が枯死する程の深刻な被害に繋がることが示された。



第3-7図 株枯病発病樹の樹体縦断面における木部褐変状況

調査年次および園地番号：汚染土壤に定植し3年目（2008年2月）のD園
 調査樹：品種は「蓬莱柿」で第3-3表の調査樹番号No.3に相当する

- I：調査時における圃場での調査樹全体像
 - II：調査樹全体の縦断面における木部褐変状況
 - III：IIの主幹部の木部褐変状況
- 右列：縦断面
 左列：矢印の部位から切り出した木片の横断面

第3-3表 土壌伝染により発病した外部病徴別の内部病徴（木部褐変）の状況と株枯病菌の検出範囲

調査時の樹体の状態		収穫果実は小玉だが葉の萎れや葉色低下が認められない樹体				夏季に葉の萎れと黄変が認められたが枯死には至っていない樹体				夏季に枯死し乾燥した樹体									
調査樹番号 調査園		No.1 G園		No.2 G園		No.3 D園		No.4 D園		No.5 G園		No.6 G園		No.7 B園		No.8 B園		No.9 B園	
調査部位	主枝・根番号	第1	第2	第1	第2	第1	第2	第1	第2	第1	第2	第1	第2	第1	第2	第1	第2	第1	第2
	主枝	210 ~ 220																	
200 ~ 210																			
190 ~ 200																			
180 ~ 190																			
170 ~ 180																			
160 ~ 170																			
150 ~ 160											●								
140 ~ 150																			
130 ~ 140																			
120 ~ 130																			
110 ~ 120		●									●								
100 ~ 110		●							●			●							
90 ~ 100		●																	
80 ~ 90		●		●					●		●								
70 ~ 80		●		●					●	●	●								
60 ~ 70		●		●					●	●			●						
50 ~ 60		●	●	●					●				●						
40 ~ 50		●		●				●											
30 ~ 40		●						●	●				●						
20 ~ 30		●						●	●				●						
10 ~ 20							●	●	●	●									
0 ~ 10							●	●	●	●									
幹部 地上部	30 ~ 40	●		●		●		●		●		●							
	20 ~ 30	●		●				●		●		●							
	10 ~ 20	●		●				●		●		●							
	0 ~ 10	●						●		●		●							
幹部 地下部	0 ~ -10							●		●		●							
	-10 ~ -20							●		●		●							
	-20 ~ -30							●		●		●							
根部	0 ~ -10					●		●	●										
	-10 ~ -20					●	●	●	●	●									
	-20 ~ -30					●		●											
幹地際周辺土壌		●		●		●		●		●		●		●		●		●	

- 株枯病菌検出
- 木部褐変あり
- 株枯病菌非検出および木部褐変なし
- 調査対象なし
- ==== 地際

調査園と樹数：株枯病菌に汚染された土壌へ2005年2月に定植したB, D, Gの3園9樹
 調査時期と対象樹：2008年11月で定植4年目（No.3のみ2008年2月で定植3年目）主枝、幹部および
 根部（幹部より30cmまで）を10cmに切断した
 調査樹：アイノキクイムシによる加害なし
 樹型：地上部40cm程度で2本の主枝を水平に配置した一文字整枝
 品種：「蓬萊柿」

第3節 殺菌剤土壌灌注体系処理による株枯病防除方法の開発

本病の薬剤防除について廣田ら（1984）は、チオファネートメチル水和剤（以下、TM 剤）を3～11月まで毎月1回の割合で灌注すると最も防除効果が高いことを示した。清水・三好（1999）は、収穫期を含む殺菌剤（チオファネートメチル・トリフルミゾール水和剤）のほぼ毎月使用（6～11月）の有効性を示すデータを報告している。しかしながら、彼らが実験を行った1980年代や1990年代とは異なり、2013年1月時点では登録内容の変更に伴い、本病に登録のある殺菌剤は、収穫30日前までしか施用できないため、収穫期間には全く防除が行えなかった。

本病原菌の生育適温や地温から判断すると、収穫期間中（本県の場合8～11月）もイチジクに対する本病原菌の感染や病徴が進むと考えられる（森田ら、2013）。加えて、殺菌剤（トリフルミゾール水和剤（以下、T 剤）やTM 剤）を処理したにも関わらず、本病の被害が発生することがあり、殺菌剤の土壌処理の効果自体が県内の生産者等から疑問視されることもあった。2013年2月にテブコナゾール水和剤（以下、TE 剤）が本病に使用できるようになった。本剤は収穫前日まで使用可能である（第3-4表）。

本研究では、本病汚染圃場に「蓬莱柿」および「柘井ドーフィン」の2年生苗木を定植し、定植直後からほぼ1ヶ月おきに収穫期（8月から10月）を含めてT 剤、TM 剤およびTE 剤を施用する新体系処理区の防除効果を定植後3年間調査した。加えて、既存のT 剤およびTM 剤をほぼ1ヶ月おきに施用する既存剤処理区（収穫期は薬剤無施用）および薬剤を全く施用しない無処理区を設け、同様に調査した。これらの3処理区の3年間の累積枯死率を比較することで、収穫前日まで使用可能な殺菌剤を加えたイチジク株枯病を対象とした防除体系の評価を行った。

第 3-4 表 イチジク株枯病に対する土壌灌注処理登録のある薬剤一覧
(2013年4月30日時点)

成分名	収穫前 使用日数	灌注処理 総使用回数	灌注処理量 /株
トリフルミゾール	30日前	6回以内	1 L
チオファネートメチル	30日前	6回以内	1 L
チオファネートメチル トリフルミゾール	30日前	6回以内	1 L
テブコナゾール	前日	3回以内	10 L

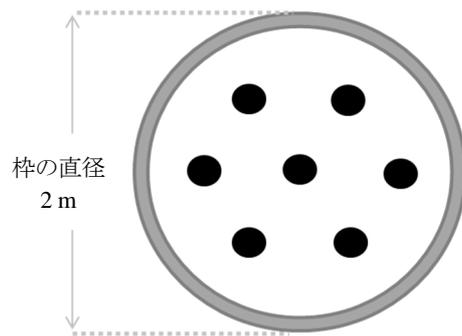
1 材料および方法

供試苗木：「榊井ドーフィン」および「蓬萊柿」を供試した。両品種の休眠枝を2Lプラスチックポットに充填した培地（ハイポネックス®培養土）に挿し木し、定植日までの2年間を無加温ハウス内で管理した。2013年4月30日の定植時の枝長が約1mの「蓬萊柿」21本、「榊井ドーフィン」21本の苗木を用いた。

試験圃場：本病が発生した現地圃場から汚染土壌を2009年3月16日に採取し、果樹研究部内に設置した直径2m、深さ30cmの枠内に充填して汚染圃場を再現した（第3-8図）。「蓬萊柿」を7本定植した枠と「榊井ドーフィン」を7本定植した枠をそれぞれ3ヶ所設けた。2013年の薬剤処理試験の開始前に土壌を回収し、枝挿し法（梶谷，1995）により全ての枠の土壌が本病原菌に汚染されていることを確認した。

試験区：試験区として、1) 殺菌剤を全く施用しない無処理区、2) T剤およびTM剤を定植時から収穫30日前の4~7月の期間ほぼ1ヶ月おきに施用する既存体系処理区、3) 既存体系処理区に収穫期3回のTE剤を追加し、定植後から収穫期までほぼ1ヶ月おきに殺菌剤を施用する新体系処理区の合計3区を設けた。各々の試験区に「蓬萊柿」と「榊井ドーフィン」の枠を1ヶ所ずつ割り振った。

薬剤は所定の濃度に調整して計量バケツで株元に灌注した。苗木あたりの薬量は各剤の登録内容に従いT剤とTM剤は1L、TE剤は10Lを処理した。ハウスの天井とサイドを6mmネットで覆いカミキリムシ対策を施したこと、夏場の乾燥時のみ追加灌水したこと以外は、慣行露地での栽培条件と同様に管理した。汚染土壌に定植した供試苗木の外部病徴を調査し、3年間の累積枯死率により防除効果を評価した。



第3-8図 現地圃場から採取した株枯病汚染土壌を充填した枠内における供試苗木の配置状況

- ：供試苗木として枠あたり「蓬萊柿」7本または「榊井ドーフィン」7本を定植

2 結果および考察

薬剤無処理区では、定植1年目と2年目に「榊井ドーフィン」がそれぞれ4本および2本枯死した。また、定植2年目と3年目に「蓬萊柿」がそれぞれ、1本および3本枯死した。3年間の累積枯死率は「榊井ドーフィン」および「蓬萊柿」でそれぞれ85.7%および57.1%であった(第3-5表)。

既存体系処理区では、「榊井ドーフィン」が毎年1本ずつ枯死した。また、定植3年目に「蓬萊柿」1本が枯死した。この結果、「榊井ドーフィン」および「蓬萊柿」の3年間の累積枯死率はそれぞれ42.9%および14.3%であった(第3-5表)。新体系処理区では、3年間を通じて枯死木は全く確認されなかった(第3-5表)。3年間の累積枯死率に基づいて評価すると、既存体系処理区で本数は少ないものの枯死木が発生し、新体系処理区では全く枯死木が発生しなかった。このことから、収穫期間以外に殺菌剤の土壌灌注を徹底したとしても本病の被害を阻止できず、定植後から収穫期間中も含めて1ヶ月間隔で薬剤を処理することで高い防除効果が得られることが明らかになった。

第3-5表 イチジク株枯病に対する株元への薬剤土壌灌注処理による防除効果

試験年	試験区	反復	品種 ^{a)}	樹数	処理薬剤 ^{b)} と処理日 ^{c)}							累積枯死樹数(枯死樹率%)
					4/30	5/14	6/11	7/9	8/6	9/4	10/8	11/6日時点
2013年	無処理区	I	MA	7	—	—	—	—	—	—	—	4 (57.1)
		II	HO	7	—	—	—	—	—	—	—	0 (0)
	既存体系区	I	MA	7	T	TM	T	TM	—	—	—	1 (14.2)
		II	HO	7	—	—	—	—	—	—	—	0 (0)
	新体系区	I	MA	7	T	TM	T	TM	TE	TE	TE	0 (0)
		II	HO	7	—	—	—	—	—	—	—	0 (0)
2014年	試験区	反復	品種	樹数	4/22	5/13	6/24	7/15	8/6	9/15	10/23	11/28日時点
	無処理区	I	MA	7	—	—	—	—	—	—	—	6 (85.7)
		II	HO	7	—	—	—	—	—	—	—	1 (14.3)
	既存体系区	I	MA	7	T	TM	T	TM	—	—	—	2 (28.6)
		II	HO	7	—	—	—	—	—	—	—	0 (0)
	新体系区	I	MA	7	T	TM	T	TM	TE	TE	TE	0 (0)
II		HO	7	—	—	—	—	—	—	—	0 (0)	
2015年	試験区	反復	品種	樹数	4/22	5/20	6/19	7/17	8/31	9/28	10/24	12/1日時点
	無処理区	I	MA	7	—	—	—	—	—	—	—	6 (85.7)
		II	HO	7	—	—	—	—	—	—	—	4 (57.1)
	既存体系区	I	MA	7	T	TM	T	TM	—	—	—	3 (42.9)
		II	HO	7	—	—	—	—	—	—	—	1 (14.3)
	新体系区	I	MA	7	T	TM	T	TM	TE	TE	TE	0 (0)
II		HO	7	—	—	—	—	—	—	—	0 (0)	

a) 供試品種 MA:「榊井ドーフィン」, HO:「蓬萊柿」

b) 供試薬剤 T: トリフルミゾール水和剤 500倍 1L/株
 TM: チオファネートメチル水和剤 500倍 1L/株
 TE: テブコナゾール 2000倍 10L/株
 —: 薬剤無処理

c) : 収穫期

第4節 新たな抵抗性台木の抵抗性評価

本病の防除方法として薬剤土壌灌注が知られているが、この方法のみでは防除効果に限界があり、労力面からも現地への普及が難しい側面がある。そこで、抵抗性台木による防除技術の開発が行われ、これまでにイチジク種内から抵抗性台木として有望な品種が幾つか見出され実用化されている（細見，2006；加藤ら，1982；清水・三好，1999；外側ら，1999）。しかし、これらの抵抗性台木を用いても発病する事例があり、さらに強い抵抗性台木の開発が望まれている。

イチジクの近縁野生種イヌビワ (*Ficus erecta* Thunb.) は、切り枝や苗木への接種試験からイチジク品種と比較して、本病に対して強い抵抗性を示すことが認められ、新たな台木開発の素材として注目されてきた（清水・三好，1999）。しかし、イヌビワはイチジク栽培品種「柵井ドーフィン」との接木親和性に問題があり、現在の接ぎ木技術の範囲では台木としての使用は困難である（細見，1993）。イヌビワの優れた特性をイチジクに導入するため、複数の研究グループが種間交雑に取り組んできたが、交雑個体の獲得には至らなかった。国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構と本県の共同研究では、イヌビワの系統探索やイチジク栽培品種との組合せを検討し、世界で初めて交雑個体の獲得に成功した（Yakushiji *et al.*, 2012）。

後述の試験結果において、種間交雑第一世代（以下、 F_1 ）はイヌビワ並みの強い抵抗性を有したが、根部の障害により生育量が少なく台木としての実用化には至らなかった。このためさらに研究を進め、 F_1 の花粉をイチジクに人工受粉し、戻し交雑第一世代（以下、 BC_1 ）の獲得に成功した（Yakushiji *et al.*, 2019）。 BC_1 は、イチジク栽培品種と同等の成長性とイヌビワ並みの抵抗性を併せ持つ可能性がある。これらの種間雑種を用いた抵抗性台木の育種選抜を効率的に進めるために、多数の種間雑種から有望系統を早期に選抜する抵抗性評価方法を確立する必要がある。これまで、本病に対するイチジク種の簡易な抵抗性の評価には、葉片（細見・瓦谷，2004）や剪定枝片（外側ら，1999）へ本病原菌を接種し、病斑の大きさや子のう殻形成数から抵抗性を推定する方法が検討されてきた。しかし、これらの方法では個体の一部位を供試することから、本病による個体の萎凋枯死に対する抵抗性を確実に評価することは出来ない可能性が高い。そこで、イチジクやイヌビワの幼苗を供試して新梢基部に本病原菌を有傷接種し、比較的短期間で個体の生死に基づいて両種間の本病抵抗性の差異を識別する方法の妥当性を検討した。さらに F_1 および BC_1 が有する抵抗性について簡易評価を行った。

後述する幼苗接種試験において、イチジクは品種間に累積枯死率の推移に差異が認められるが大半は枯死する。一方イヌビワは、接種病斑の拡大が少なく枯死しないことを明らかにした。しかし、イチジクやイヌビワが有する本病抵抗性に関する遺伝的背景は不明であり、交雑系統が示す抵抗性を的確に形容し表記することはできない。本試験では、イヌビワおよび種間交雑体の示す抵抗反応がイチジク品種のそれとは明確に異なる点を便宜的に表現するため、種間交雑体が有する抵抗性を「イヌビワ同等の強い抵抗性」と表記することとした。

1 材料および方法

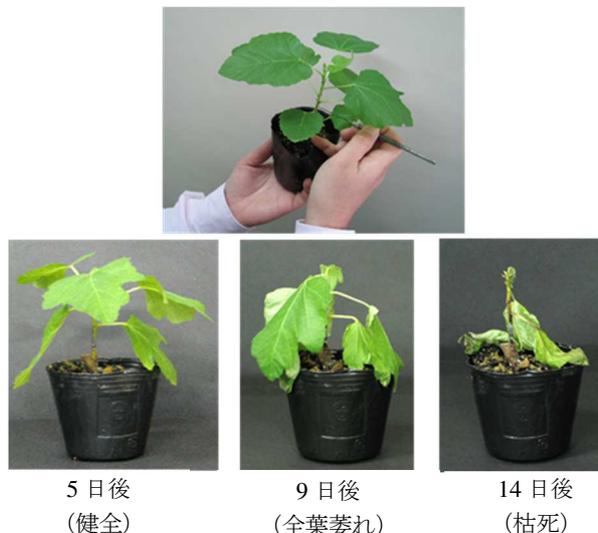
幼苗検定法

供試苗：イチジク種内から選抜された既存の本病抵抗性品種として知られる「セレスト」、 「ボルディード・ネーグラ」、および「イスキア・ブラック」(細見, 2006; 清水・三好, 1999)と、生産現場で本病による被害が問題になっているイチジク栽培品種の「柵井ドーフィン」をそれぞれ供試した。また、東広島市安芸津町に分布するイヌビワ 1 系統 (雄株) も供試した。試験には 100 ml プラスチックポットに充填した滅菌培地 (ハイポネックス®培養土) に挿し木した 11 週目の幼苗を用い、接種日までは無加温ハウス内で管理した。品種もしくは種毎に接種区に 6~10 個体を、無接種区 (有傷のみ) に 5 個体を供試した。接種時の全供試苗のサイズは、新梢長、新梢基部径、および節数がそれぞれ、5.7~12.0 cm, 3.7~5.1 mm および 5~8 節であった。

接種源：本病原菌 (広島総研分離株 cf 01) を PDA 平板培地で 21~35 日間培養 (25°C・全暗条件) し、そこに形成された子う胞子塊を接種に用いた。

接種方法と培養条件：接種試験は、2008 年 9 月 (試験 1) と 11 月 (試験 2) の 2 回実施した。なお、試験 2 では「イスキア・ブラック」を供試しなかった。接種は、清水ら (2008) を参考に、各幼苗の新梢基部から 1~2 cm 上部へ行った (第 3-9 図)。当該部位にニードル (長さ 15 cm : 径 1 mm) で幅約 2 mm, 深さ約 2 mm (髓に到達する程度) の傷を付け、本病原菌の子う胞子塊を 2 個埋め込み、パラフィルムで覆った。接種後、供試個体は平均温度 28.0°C, 明期 16 時間・暗期 8 時間, 照度 3200 ルクス の条件で管理した。灌水は、土壌の乾燥に応じて 2~3 日に 1 回行い、水量はポットの底部から若干の水が流出する程度とした。

供試苗の萎凋状況を、接種 60 日目まで毎日調査した。本研究では、全ての葉が萎凋し、褐変が新梢先端部まで達した状態を個体の枯死と定義した。また、枯死原因を確認するため、枯死苗の接種部から広がる本病の病斑形成状況を目視で調査した。



第 3-9 図 イチジク株枯病に対する抵抗性を簡易に評価する幼苗接種法と接種後の経時変化
使用品種「柵井ドーフィン」

種間交雑第一世代 (F₁)

F₁ が有する抵抗性を評価するため、「梣井ドーフィン」、「蓬莱柿」、「ボルディード・ネーグラ」、「セレスト」、イヌビワ 1 系統および F₁ (No.1, No.2) 2 系統の挿し木 3 ヶ月目の苗を供試した。接種方法は、接種源を子のう胞子塊 (苗あたり 2 個処理) から分生胞子懸濁液 (濃度 10⁵ 個 / ml, 苗あたりの処理量 5 μl) に変えた以外は先の幼苗検定法に準じ、接種 100 日後までの累積枯死率を調査した。

戻し交雑第一世代 (BC₁)

BC₁ は、F₁ の花粉を「梣井ドーフィン」「ネグロ・ラルゴ」「ボルディード・ネーグラ」および「イスキア・ブラック」に交配して実生集団を得た。接種試験には「梣井ドーフィン」系 58 系統、「ネグロ・ラルゴ」系 39 系統、「ボルディード・ネーグラ」系 19 系統および「イスキア・ブラック」系 13 系統を供試した。合計 129 系統は全て実生由来であり、各々形質の異なる個体 (反復無し) への接種を行った。接種方法は、F₁ を用いた実験と同様であった。1 回目接種から 30 日の時点で生存した個体について、1 回目の接種部と同程度の茎径の部位に 2 回目接種を行った。同一個体に 2 回接種して、2 回目接種から 30 日後の時点で生存した個体を抵抗性系統とし、それ以外を罹病性系統として区分した。

さらに、これまでの抵抗性検定と同様に個体反復を揃えた条件で幼苗接種を行い BC₁ の抵抗性を評価した。生育が旺盛で緑枝挿し用の穂木が確保できた BC₁ の 4 系統については、挿し木 3 ヶ月目のクローン苗を各 10 個体揃え、罹病性対照として「梣井ドーフィン」を、抵抗性対照としてイヌビワを加え、接種 60 日後までの累積枯死率の推移により抵抗性を評価した。接種方法は、F₁ を用いた実験と同様であった。病斑直径を接種以降 7 日間隔で、新梢の木化に伴い病斑範囲の確認が困難になった接種 28 日まで調査した。接種後 70 日目までの累積枯死率を調査した。あわせて BC₁ の生育状況 (F₁ で発生した根部の生育障害の有無と新梢生育) を、「梣井ドーフィン」、イヌビワを含めた各 10 個体と比較調査した。

上記の抵抗性系統群の中から、挿し木苗の歩留まりや栽培品種との接ぎ木親和性を基準に選抜を進め、一系統を「励広台 1 号」として品種登録出願し、2020 年 3 月 11 日付けで公表された: (登録出願番号 34378 号)。本病は土壌伝染性病害であることから、土壌経由の感染に対する「励広台 1 号」の抵抗性を把握することを目的として、幼苗を用いた土壌接種試験を行った。本試験には「励広台 1 号」、イヌビワおよびイチジクの栽培品種に加えて既存抵抗性品種も供試した。比較のために本試験と同様の系統・品種の幼苗を用い、先の幼苗検定法に準じた新梢有傷接種試験も行った。土壌接種試験では、「励広台 1 号」、栽培品種「梣井ドーフィン」、「蓬莱柿」、既存抵抗性品種「イスキア・ブラック」、「ボルディード・ネーグラ」およびイヌビワの穂木を 200 ml プラスチックポットに充填した培地 (ハイポネックス®培養土) に挿し木し、無加温ハウス内で管理した。品種・系統ごとの供試個体数は 8~12 であった。幼苗の土壌表面に菌液 (分生胞子 10⁵ 個 / ml) を 100 ml 灌注処理した。接種日から 180 日後の累積枯死率を集計した。新梢有傷接種試験では、供試苗の種類と管理は上記の土壌接種試験と同様

で、品種・系統ごとに8~10個体供試し、接種から70日目までの累積枯死率を集計した。

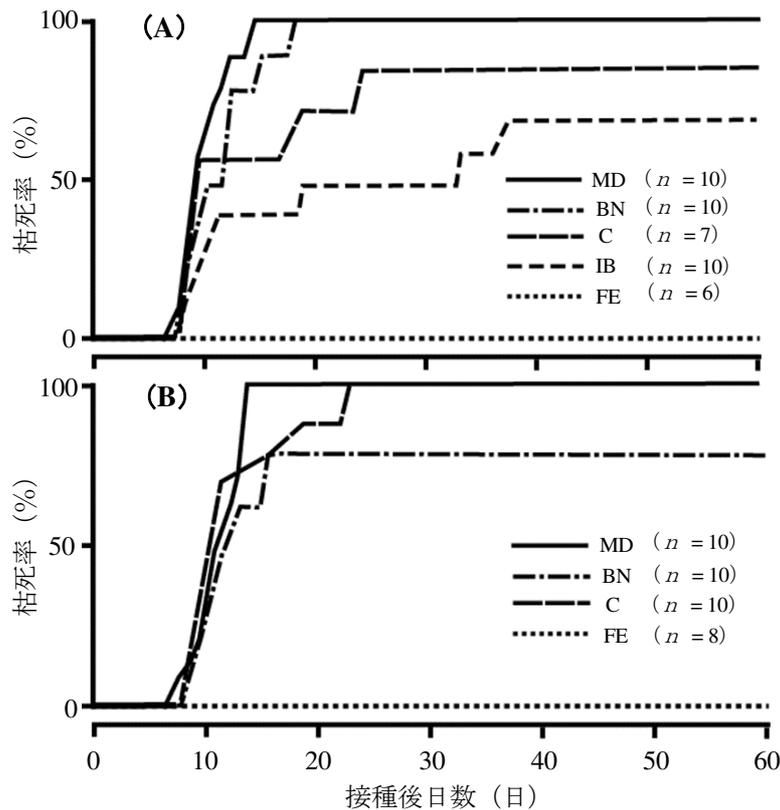
2 結果および考察

幼苗接種によるイヌビワとイチジク品種間の累積枯死率の比較

試験1および試験2ともに供試したイチジク品種の全てで個体の枯死が確認されたのに対し、イヌビワでは枯死する個体は発生しなかった(第3-10図AおよびB)。イチジク個体の枯死パターンを品種別にみると、枯死の初発は、全ての品種で接種7~9日後に確認された。その後、罹病性の「榊井ドーフィン」は、両試験とも急激に枯死率が増加して接種14日後には全てが枯死した。また、抵抗性の「セレスト」、 「ボルディード・ネーグラ」、および「イスキア・ブラック」は、枯死率が徐々に増加し、試験1では接種18日後に「ボルディード・ネーグラ」が100%に達し、調査終了時点(接種60日後)で「セレスト」は86%、「イスキア・ブラック」は70%の枯死率であった(第3-10図A)。試験2では、枯死率は接種21日後に「セレスト」で100%に達し、調査終了時点(接種60日後)で「ボルディード・ネーグラ」で80%であった(第3-10図B)。全枯死個体の接種部において、本病原菌の子のう殻形成に伴う組織黒変を確認した。一方、無接種区では、全ての供試苗において接種部の組織黒変はなく、調査期間中に枯死する個体は認められなかった。本研究の結果は、イチジク品種の抵抗性について5年間の汚染土壌接種試験から評価した結果(細見, 2006)とほぼ同様の傾向を示した。

本研究で用いた方法は、イヌビワとイチジク品種間の本病抵抗性の差異について明確に区分でき、イヌビワと同程度の抵抗性を有することが期待される種間雑種個体を早期に選抜する方法として活用できると考えられる。本法の特徴として、実際の病徴に近く誰もが判断し易い個体の生死が抵抗性の評価基準であること、抵抗性の評価について大勢が判明するまで接種後20日から30日と比較的短期間であること、およびPCRなどのDNA解析技術を用いず、それほど専門的手法を必要としないことが挙げられる。

2011年に本病原菌が*Ceratocystis fimbriata*から*C. ficicola*へ種名変更された(Kajitani and Masuya, 2011)。これを受けて広島県内に分布する菌を調査した結果、*C. ficicola*であると再同定した。さらに既存接種法の課題として残されていた複数菌株を用いた反応について、また遺伝的な安定性を考慮し接種源を子のう孢子から分生孢子の利用について検討した。当県内の主要な産地から分離した7菌株の分生孢子を接種源(濃度 10^5 個/ml、苗あたりの処理量5 μ l)とし、罹病性品種「蓬莱柿」の幼苗に有傷接種した結果、全菌株とも接種後10日前後で累積枯死率が100%に達し、菌株間の病原性に明瞭な違いがないことを確認した(森田ら, 2012a)。また子のう孢子塊(苗あたり2個)を供試した従来の接種結果とも同様な傾向であった。よって、以後のイチジクとイヌビワの種間交雑系統(F_1 および BC_1)の抵抗性を評価する幼苗への接種検定には、接種源として分生孢子を供試することとした。



第3-10図 株枯病菌幼苗接種によるイチジク品種とイヌビワ間の累積枯死率の差異 (A, B 二回繰り返し試験)

イチジク品種

MD:「榊井ドーフィン」、BN:「ボルディード・ネーグラ」、
C:「セレスト」、IB:「イスキア・ブラック」

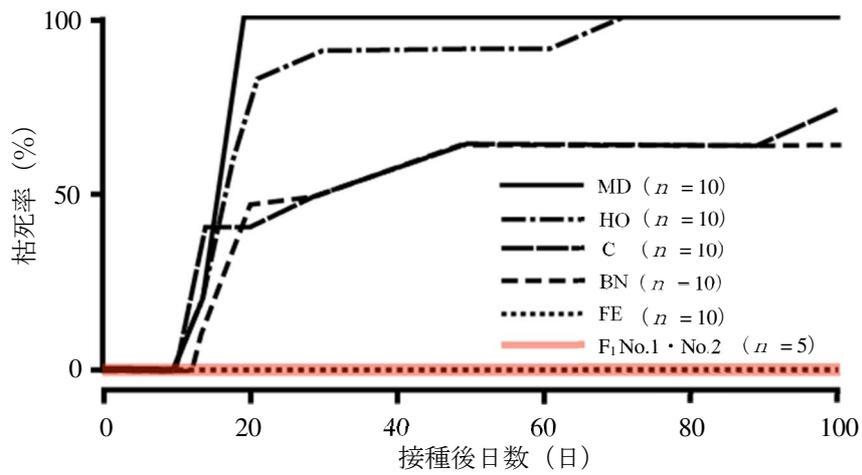
野生種

FE: イヌビワ (*Ficus erecta*)

種間交雑第一世代 (F₁) の抵抗性評価

F₁が有する抵抗性を幼苗接種検定により評価した。第3-11図に接種後100日間の累積枯死率の推移を示した。調査期間中、F₁(2系統)とイヌビワでは枯死個体は認められなかった。一方、「榊井ドーフィン」は15日目に、「蓬萊柿」は70日目に累積枯死率が100%に達し、全ての個体が枯死した。「ボルディード・ネーグラ」と「セレスト」については、15日目から枯死個体が発生し、その後100日目の時点で累積枯死率は、「ボルディード・ネーグラ」で60%、「セレスト」で70%に達した(第3-11図)。この結果から、F₁はイヌビワと同程度の強い抵抗性を有していることが示された。

しかし、F₁は栽培品種と比較して新梢生育が劣った(第3-12図)。この現象は、主幹部と根部の境界部位が褐変して脱離する障害に起因すると推定された(第3-12図)。同様の症状は栽培品種には確認されず、F₁が有する負の特性であった。以上のことから、F₁を直接台木として利用することは不可能であると判断した。



第3-11 図 株枯病菌幼苗接種によるイチジク品種, イヌビワおよび F₁における累積枯死率の推移

イチジク品種

MD : 「樹井ドーフィン」, HO : 「蓬莱柿」,

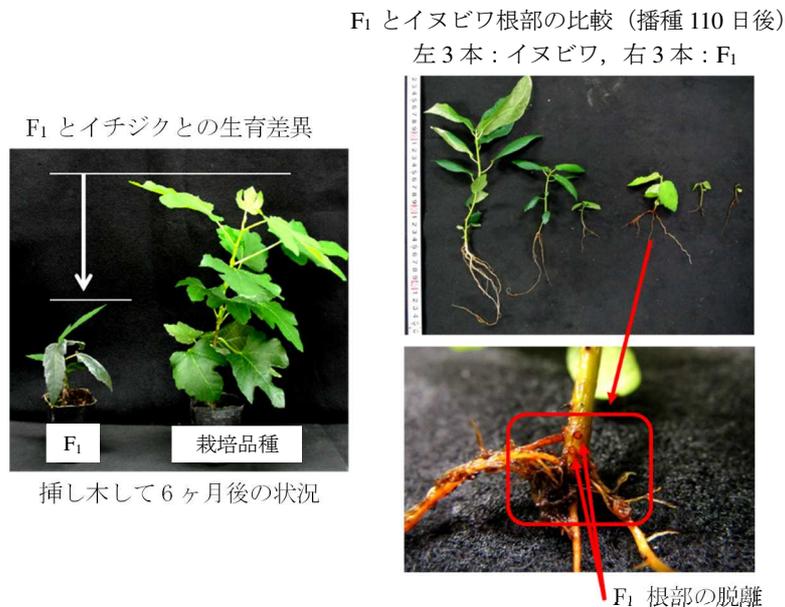
C : 「セレスト」, BN : 「ボルディード・ネーグラ」

野生種

FE : イヌビワ (*Ficus erecta*)

種間交雑第一世代

F₁ No.1・No.2 : F₁ 系統1・系統2



第3-12 図 F₁で発生した根部の障害による生育不良

左 : 新梢生育の差, 右 : 根部褐変の障害

戻し交雑第一世代 (BC₁) の抵抗性評価

BC₁の抵抗性について、前節と同様の幼苗接種検定により評価した。種子親が異なる四つの組合せの実生集団から獲得した129系統(実生苗のため個体反復なし)に対して有傷接種を行い、病斑が拡大して枯死する実生を罹病性系統(S)、病斑の拡大がほぼなく枯死しない実生を抵抗性系統(R)と定義して分類した。その結果、BC₁における交雑組合せごとのS : Rの内訳は、「梶井ドーフィン」系では58系統のうちS 31系統 : R 27系統、「ネグロ・ラルゴ」系39系統ではS 22系統 : R 17系統、「ボルディード・ネーグラ」系19系統ではS 8系統 : R 11系統、および「イスキア・ブラック」系13系統ではS 6系統 : R 7系統であり、全体ではS 67系統 : R 62系統に分離した(第3-6表)。実生集団におけるS : Rの分離比について、期待値(S : R = 1 : 1)との適合度をカイ二乗検定により確認したところ、S : Rが1 : 1に分離するという仮説に矛盾はなかった。この結果から、イヌビワ由来の本病抵抗性は、優性の単一遺伝子支配である可能性が示唆された(Yakushiji *et al.*, 2019)。

抵抗性としたBC₁のうち、生育が旺盛であった4系統について、挿し木クローン苗10個体を揃え、反復のある接種検定により抵抗性を評価した。その結果、罹病性の対照である「梶井ドーフィン」は接種7日後に病斑直径が90 mmになり12日後に全て枯死した(第3-7表)。一方のBC₁は供試した4系統の全てにおいて、接種28日後までに病斑直径は約9 mmで拡大が停止し、接種後60日の調査期間中に枯死する個体は確認されず、抵抗性の対照であるイヌビワ同等の強い抵抗性を有することが明らかになった(第3-7表, 第3-13図)(Yakushiji *et al.*, 2019)。BC₁の挿し木苗は、F₁の生育不良の原因であった主幹部と根部の境界部位に発生する障害が確認されず(第3-14図)、地上部の生育も栽培品種「梶井ドーフィン」と同程度であった(第3-15図)。

土壌経由での本病感染に対する「励広台1号」の抵抗性を評価した。土壌接種180日後の累積枯死率は、栽培品種および既存抵抗性品種で67%~100%であった。一方、「励広台1号」およびイヌビワは、調査期間中に枯死個体は全く認められなかった(第3-16図A)。このことから「励広台1号」は、土壌を経由した本病原菌の感染に対してイヌビワと同等の抵抗性を有することが示唆された。新梢有傷接種において、栽培品種および既存抵抗性品種で累積枯死率が高く推移する一方、「励広台1号」およびイヌビワは調査期間中に枯死せず、これまでの試験結果と同様であった(第3-16図B)。土壌接種試験および新梢有傷接種試験の結果から、「励広台1号」にはイヌビワと同程度の本病に対する抵抗性があることが明らかとなった。今後、「励広台1号」に「蓬萊柿」を接木した苗木を供試し、汚染圃場での試験を実施する必要がある。

第3-6表 BC₁ 実生個体群の罹病性, 抵抗性の分離割合

種子親	花粉親 ^{a)}	罹病性 S	抵抗性 R	期待値 (S:R)	X ² 値	P値 ^{b)}
榊井ドーフィン	F ₁	31	27	1:1	0.276	0.599
ネグロ・ラルゴ		22	17	1:1	0.641	0.423
ボルディード・ネーグラ		8	11	1:1	0.474	0.491
イスキア・ブラック		6	7	1:1	0.077	0.782
合計		67	62	1:1	0.194	0.66

a) 花粉親 F₁: ボルディード・ネーグラ (種子親) × イヌビワ (花粉親)

b) X²分布表の値=3.84 (df=1, P=0.05)

第3-7表 新梢基部への株枯病菌有傷接種による病斑直径の推移

供試品種および系統No.	供試 苗数	新梢長 (cm)	接種部位 新梢基部直径 (mm)	病斑直径 (mm)				
				接種後日数				
				7日	14日	21日	28日	
BC ₁ 系統	No. 1	10	40.5 ± 1.3	4.5 ± 0.2	7.0 ± 0.5	7.5 ± 0.5	8.6 ± 1.1	9.6 ± 1.8
	No. 2	10	28.6 ± 3.4	3.8 ± 0.2	7.0 ± 0.5	7.3 ± 0.4	7.3 ± 0.4	7.3 ± 0.4
	No. 3	10	33.9 ± 2.4	4.8 ± 0.1	7.8 ± 0.5	7.8 ± 0.2	7.8 ± 0.2	7.8 ± 0.2
	No. 4	10	39.4 ± 0.5	4.2 ± 0.1	8.1 ± 0.5	8.6 ± 0.6	9.4 ± 0.9	9.4 ± 0.9
罹病性対照	榊井ドーフィン	10	28.8 ± 1.5	4.7 ± 0.1	90.0 ± 15.2	N D	N D	N D
抵抗性対照	イヌビワ	10	9.5 ± 0.7	2.2 ± 0.1	1.9 ± 0.4	1.9 ± 0.1	2.0	2.0

平均値 ± 標準誤差

ND: 「榊井ドーフィン」は接種12日目に全ての供試苗が枯死したため病斑データなし



第 3-13 図 幼苗検定による枯死の発生状況（接種後 60 日目）



榊井ドーフィン

BC₁

イヌビワ



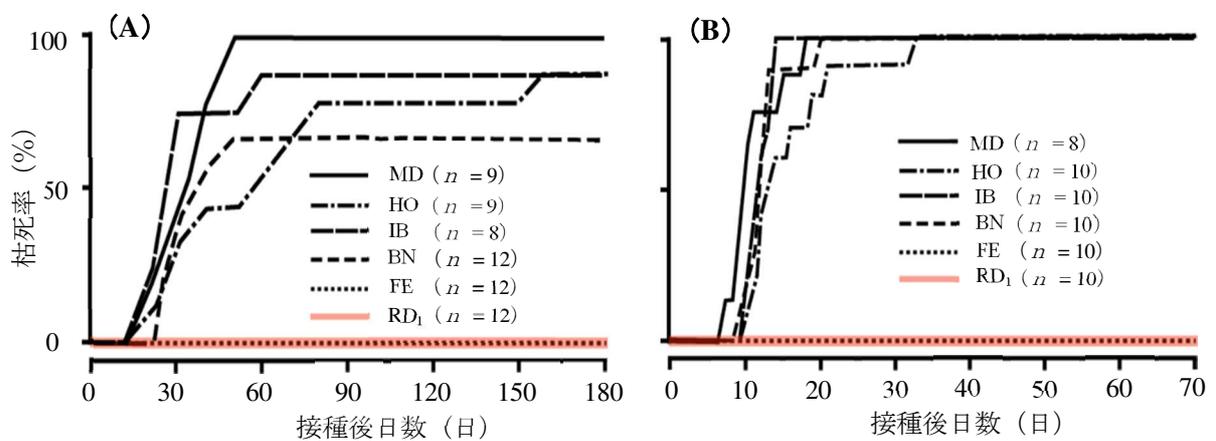
第 3-14 図 挿し木 3 ヶ月後の苗木における栽培品種「榊井ドーフィン」、BC₁ およびイヌビワの根部生育の比較



品種・系統	桐井ドーフィン	BC ₁ 系統 No. 1	イヌビワ
新梢長 (cm)	28.8 ± 1.5	33.9 ± 2.4	16.1 ± 2.1
新梢基部直径 (mm)	4.7 ± 0.1	4.8 ± 0.1	2.2 ± 0.1

第 3-15 図 挿し木 3 ヶ月後の苗木における栽培品種「桐井ドーフィン」、
BC₁およびイヌビワの新梢生育の比較

数値：平均 ± 標準誤差 (n = 10)



第 3-16 図 「励広台 1 号」を含む幼苗を用いたイチジク株枯病菌の接種後日数と枯死率との関係
(A：土壌接種試験，B：新梢への有傷接種試験)

イチジク品種

MD：「桐井ドーフィン」，HO：「蓬莱柿」，

IB：「イスキア・ブラック」，BN：「ボルディード・ネーグラ」

野生種

FE：イヌビワ (*Ficus erecta*)

種間交雑品種 (戻し交雑第一世代)

RD₁：「励広台 1 号」

第4章 総合考察

イチジクは、他の果樹と比較して栽培が容易で収益性が高いことから、地域特産物として全国的にも注目される品目である。本県では、古くから沿岸部を中心とした地域で「蓬莱柿」が栽培されており、近年では集落営農法人の経営品目として重要視されている。一方で本病は、イチジクの生産振興を阻害する最大の要因である。本病は、イチジクを枯死させ減収に直結する深刻な被害を引き起こす。加えて、土壌病害であるため一度圃場で発生すると根治が困難である。本病は1981年に愛知県より初報告され、2017年3月時点では33府県で本病が確認されており、全国のイチジク産地にほぼ蔓延した状況にある(梶谷, 2017)。

本県では1996年に県西部のイチジク産地において本病が初確認された。その後2003年頃から同じ産地においてククイムシが関与した本病によるイチジク樹の集団枯死が発生した。さらに2006年には、これまで本病の発病履歴のない県東部のイチジク産地において、ククイムシが介在して本病が激害化する事例を確認した(第1章)。ククイムシ成虫およびフラス(虫糞および木くず)をイチジク切枝に接種した結果、両者から本病原菌が検出されたことから、ククイムシが本病原菌を伝播する可能性が高いこと、および地表に落ちたフラスにより本病原菌による土壌汚染が助長されることを確認し、本病の蔓延阻止にはククイムシの加害防止が重要であることを示した(第2章)。現在でも県内の主要な全ての産地でククイムシによるイチジクの加害が継続している(森田, 未発表)。これらのことから、本県では本病の対策として、他のイチジク生産府県と同様の土壌病害の対策に加え、ククイムシの対策が同時に必要であることが示唆された。ここでは、本研究の結果を踏まえて本県の本病発生パターンに対応した防除方法を提案するとともに、今後の課題と展望について議論を行う。

本病によるイチジクの枯死被害を軽減するために、本病原菌を随伴するククイムシの加害を防止する技術開発は重要である。第2章において、ククイムシの生態と本病原菌の相互関係について基礎的な知見を得た。羽化トラップを用いて加害樹からのククイムシ成虫の脱出消長を調査し、越冬世代成虫が4月下旬から6月上旬(5月ピーク)に、夏世代成虫が7月上旬から9月上旬(8月ピーク)に、それぞれ移動分散することを確認した。梶谷(1999)は福岡県の事例として、圃場周辺にククイムシトラップ用のイチジク切り枝を設置し、穿孔虫数のピークが4月前半と7月中旬から8月下旬であることから、分散開始時期を越冬世代成虫が3月後半頃より、夏世代成虫が7月中旬ごろと推測した。本県におけるククイムシの分散開始時期を福岡県と比較すると、越冬世代成虫が約1ヶ月遅く、夏世代成虫は1旬早い。福岡県と本県での結果の違いは、双方で用いられた実験方法の違いにより説明されるかもしれない。福岡県では圃場に設置したイチジクの切り枝に対するククイムシ成虫の穿孔数を、本県ではトラップから羽化・脱出する成虫をそれぞれ用いて発生消長を推定している。また、地域や年次差の影響も考えられることから、各地域でのククイムシの発生消長に関するデータを蓄積して防除適期を検討することが望ましい。

梶谷（2001）の調査結果に基づき、ククイムシの防除対策として MEP 乳剤の原液を 4 月上旬と 7 月中旬に塗布する方法が 2004 年に農薬登録された。MEP 乳剤は、株元から結果母枝を対象にした原液塗布のみの登録であり、主幹から 2~3 本の主枝を育成する開心自然形が主体の「蓬莱柿」の場合、ククイムシ成虫が好む地際付近への塗布作業は困難で、特に夏場の作業は高温多湿条件の中、繁茂した枝葉を掻き分けて地際幹部に処理するため重労働である（森田，2012）。このため本剤は登録こそ有るが現場で取り組み難く、処理方法の改良が強く求められていた。ククイムシに対する有効薬剤の選択や処理濃度の設定時に必要となる殺虫効果を評価する実験系を開発し（軸丸・森田，2015）、登録拡大を支援することで MEP 乳剤の 1.5 倍液を主幹部に散布処理することが可能になった。MEP 乳剤 1.5 倍液の散布は既存の原液塗布と同等の防除効果がありながら、防除コストを大幅に削減した（従来比：作業時間 7.2 %，防除経費（人件費，農薬費など）47.1 %）。

ククイムシを対象としたイチジクの登録薬剤は MEP 乳剤（年間使用回数 3 回以内）1 剤のみで、この剤の薬効期間が約 2 週間と想定される（森田，未発表）。羽化消長を参考にすると、本県におけるククイムシ成虫は、越冬世代が 4 月下旬から 6 月上旬の約 1 ヶ月間、夏世代が 7 月上旬から 9 月上旬の約 2 ヶ月間イチジクを加害する可能性がある。これらのことから判断して、MEP 乳剤の使用のみではイチジクへの加害期間を完全にはカバーできていないのが現状である。更に安定した加害防止効果を得るために、対象期間中の薬効が担保できる新たな薬剤の登録が待たれる。

加害樹から脱出するククイムシおよび採取したフラスから本病原菌が検出され、本県のククイムシ個体群が本病原菌を保持していることが明らかになった。しかし、ククイムシが本病原菌を保持する仕組み（ククイムシは本病原菌をどこに、どの様に保持しているのか）やククイムシが健全なイチジク樹に本病原菌を伝播する仕組み（ククイムシ成虫は、どのようにして樹体内に本病原菌を持ち込み、そして枯死させるのか）は、今後確認すべき課題として残っている。

一方で、有効な防除方法を開発するヒントも蓄積されつつある。本病を激害化させるほどのククイムシが分布する地域でありながら、被害の少ない圃場も存在する。これらの圃場を調査すると、ククイムシの加害が若齢樹に無く、老齢樹に多い傾向があり（新田ら，2005；軸丸ら，未発表）、ククイムシに加害されやすい樹体条件があることが示唆される。真に防除が必要な樹体を絞り込むことで不要な防除を省くことができる。今後、防除対象樹の優先順位を明確化し、効率的に防除を実施することで、加害発生割合を低減できる可能性もある。

ククイムシの加害は 1990 年代に福岡県で確認されて以降、本県、岡山県そして大阪府へ広がり、2009 年には和歌山県および愛知県へと主要なイチジク生産府県で次々に確認されている（梶村ら，2010）。各産地におけるククイムシの被害状況や防除対策について聞き取りを行ったところ、栽培する品種により異なる傾向があった（森田，未発表）。岡山県以西の「蓬莱柿」の産地では、ククイムシの被害が本県と同程度に深刻で対策への意識も高い。一方で兵庫県以东の「柘井ドーフィン」の産地では、ククイムシの加害は散見される程度であり、防

除への関心が低い場合もあった。「蓬莱柿」と「榊井ドーフィン」に対するキクイムシの嗜好性の違いがあるのかもしれない。この点については、今後の課題としたい。

また、青変菌を随伴するキクイムシ類の生態として、一次性のキクイムシ類は低密度の時には樹勢の弱い木でしか繁殖できないが、高密度になると健全樹を加害することが知られている(Coulson, 1979; Paine *et al.*, 1997)。青変菌を運ぶキクイムシ類による被害として、ニレ類立枯病(Dutch elm disease)が世界的に有名である。本病原菌も青変菌に分類され(後藤, 2002)、本病原菌を随伴するキクイムシにおいて個体群密度が上昇することで加害特性が変化し、これまで被害の少ない「榊井ドーフィン」や樹体サイズが小さい若齢樹に対しても、被害が拡大する可能性も考えられる。このため、各々のイチジク産地において、キクイムシの侵入や密度推移を注意深く確認する必要がある。

本県でのイチジク産地における近年の特徴的な動向として、集落営農法人によるイチジクの集団栽培が挙げられる。2018年6月現在で4件の法人が設立され、約4haでイチジクの栽培が始まっている。従来の産地は、圃場あたりの定植本数が数本から数十本前後と比較的少なく、樹齢も様々であり、その様な圃場が数多く市街地に点在して形成されている。これに対して、集落営農法人では1法人あたりの栽培面積が広く(ha単位)、数百本の規模で同年齢樹が集団で栽培される。樹齢が進みキクイムシの加害を受けやすくなると、第1章で示した県西部および県東部の事例と同様に、本病が激害化する可能性がある。各法人に対して、この様な危険性があることを早急かつ確実に情報提供して、キクイムシの加害状況を注意深く観察するとともに加害防止対策を促す必要がある。

本県では主要な産地においてキクイムシの加害が断続的に確認されており、今後も本病に汚染された土壤に、イチジクを定植するケースが増加すると想定される。土壤由来の感染に対する既存の防除方法として、薬剤の土壤灌注と抵抗性台木が知られている。薬剤土壤灌注技術を組み立てるために必要な、本病原菌に汚染された土壤に定植したイチジク苗木が、「いつ」・「どの程度」感染するのかについて、定量的なデータは少ない。そこで、第3章において、定植後の苗木への本病原菌の感染状況を知ることと殺菌剤の土壤灌注を開始する時期を決定するため、現地汚染土壤に定植した苗木の外部病徴を長期にわたり観察し、一部の苗木については内部病徴を把握するため定期的に採取して解剖した。その結果、萎凋・枯死などの外部病徴は定植3年目から観察されるが、感染は定植したその年の内に成立していることが明らかになった(森田ら, 2015)。このことから、感染防止を目的とする薬剤処理は定植時から行い、外見上健全な期間も継続して実施する必要があることを示した。また、第3章では、現地での自然発病樹を対象に解剖を行い、主要な感染部位が地際幹部であると推定した。

本病に対する防除薬剤として、チオファネートメチル水和剤やトリフルミゾール水和剤などが登録され、現場で使用されている。しかし、これらの薬剤の使用基準は定植時および生育期に所定の濃度に希釈した薬液を樹あたり1L株元灌注(収穫30日前まで)処理するもので、結果樹では収穫30日前から収穫終了時までの数ヶ月間

は処理することができない。この期間においても本病の感染・発病のリスクが高いこと、処理液量が少ないことから、薬剤土壌灌注処理による十分な防除効果が得られないことが想定された。そこで、岡山県の担当者との共同研究により樹あたりの薬剤処理量の増加と収穫期間も処理できる新規薬剤の登録を目指した（井上・森田，2011；井上，2014a）。その結果、本病への防除効果を確認したデブコナゾール水和剤が、収穫前日までの処理および樹あたり1～10Lの処理が可能な登録内容に適用拡大された（2013年2月27日）。また、日本植物防疫協会が主催し、各都道府県の研究機関が参画して行われる新農薬実用化試験を経て、2014年12月3日にベノミル水和剤が収穫30日前まで処理が可能で、樹あたりの処理量が1～10Lの内容で適用拡大された。さらに、2015年11月11日にはチオファネートメチル水和剤が収穫前日まで処理でき、処理量が10Lまで拡大した。これらの薬剤を供試して薬剤土壌灌注の処理体系を検討し、3年間の累積枯死率の差により、定植後から収穫期間中も含めて1ヶ月間隔で薬剤を処理することで高い防除効果が得られることを実証した（森田・軸丸，2018）。

薬剤の土壌灌注処理は、生育期間を通じて年間7回程度継続する必要がある。収穫時期を含む高温条件下の作業は過酷であり、10aあたり36本の「蓬莱柿」を定植した場合、土壌処理には年間約5万円（農薬費と人件費を含む）のコストがかかる（森田，未発表）。1年あたりではあまり高額に思えないが、イチジクを栽培し続けるためには毎年この処理が必要になり、経済樹齢とされる15年間の栽培を行うと土壌処理のみに約75万円が必要になる。特に8～10月は収穫作業と重なるため、薬剤を処理する労力面からも現地に受け入れられ難い側面がある。井上（2014b）は使用時期や使用回数に制限がなく、他の既登録薬剤より長い残効が期待される塩基性硫酸銅水和剤（2013年11月登録）を組み入れることで、年間の薬剤処理回数を削減する体系を提示した。今後は、これらの知見も加味し、安定した防除効果を担保しつつ、作業コストの低減が図れる処理体系の検討が必要である。第3章の本試験は根域が限定される枠内への薬剤処理による結果であり、根の伸長範囲の広い露地栽培と比べて薬効が高くなった可能性がある。この点を考慮し、現地圃場などの枠のない条件下で防除効果を検証する必要がある。

薬剤の土壌灌注処理に比べて抵抗性台木による防除技術は、自根樹と同等の管理で良いため生産現場に普及し易い。台木導入時に接ぎ木苗代が必要になるが、それ以外に毎年発生する費用はない。現在流通している本病抵抗性台木は、栽培品種自根苗より約1,000～2,000円高く販売されている。台木導入時の初期投資の増加額は、高く見積もっても72,000円（10aあたり36本の場合）で、コスト面からも生産者が取り組み易いと想定される。しかし、イチジク種内から選抜された既存の抵抗性台木は、栽培品種の自根樹よりも延命するが、いずれは枯死するため、さらに強い抵抗性台木の開発が生産現場から要望されている。そこで第3章では、新たな抵抗性台木の開発を目的とし、本病に強い抵抗性を示すイチジクの近縁野生種イヌビワに着目して研究を実施した。イヌビワはイチジクとの接ぎ木親和性がなく、直接台木には利用できないため種間交雑を試みた。国内各地から集めたイヌビワを用いて交雑を行った結果、種間交雑個体（F₁）を世界で初めて獲得した（Yakushiji *et al.*, 2012）。こ

これらの種間交雑実生群の抵抗性を簡易に評価するため幼苗検定方法を開発し（森田ら， 2011），有望系統の選抜を進めた。接種検定を行った 2 系統の F_1 は全てイヌビワ由来の強い抵抗性を有したが，根部の生育不良により実用化には至らなかった。その後，さらに研究を進め， F_1 の花粉をイチジクに人工受粉し，戻し交雑体 (BC_1) 129 系統の獲得に成功した（Yakushiji *et al.*, 2019）。これらの系統から前述の幼苗検定法を用いてイヌビワと同等の強い抵抗性を有する個体群を選抜した。

これまでにイチジク品種を用いて幼苗新梢基部への有傷接種試験を行い，イチジク種内から選抜された抵抗性品種は，栽培品種と比べて累積枯死率は低いが，やがて枯死することを確認している（森田ら， 2011）。同様な事例として，イネ（*Oryza sativa*）といもち病菌（*Magnaporthe grisea*），オオムギ（*Hordeum vulgare*）類とうどんこ病（*Erysiphe graminis f. sp. hordei*）との間にも，非親和性品種であっても全く感染できない訳ではないことが報告されている。病原菌の種と植物の種の間にも，もともと親和性の関係があるため起こる現象と考えられ，このような関係は基本的親和性と呼ばれる（白石ら， 2012）。病原体と植物種との間に基本的親和性が確立しているとなれば，種内交配系統では抵抗性が打破される可能性が高い（白石ら， 2012）。本病原菌はイチジク種と基本的親和性を有していることが想定されるため，種内交配の系統では早晚抵抗性が打破されると考えられる。

一方，近縁野生種イヌビワは本病原菌に対して強い抵抗性を有しており，種間交雑系統はイチジク品種および種内交配品種とは全く異なる抵抗性を有すると推測される。種間交雑第一世代 (F_1) は本病原菌の接種を行った 2 系統とも，イヌビワと同程度に接種部の病斑拡大が抑制され，枯死しなかった。戻し交雑第一世代 BC_1 では，129 系統のうち 62 系統でイヌビワおよび F_1 と同程度の抵抗性が確認された。残りの 67 系統は，接種部の病斑が次第に拡大し枯死に至った。便宜上，62 系統を抵抗性と定義した場合，どのようなメカニズムに基づき BC_1 の抵抗性が発現されているのか，今後明らかにすべき重要な課題である。

白石ら（2012）により，植物病理学における抵抗性について説明がなされている。そのうちのひとつとして植物が本来備えている静的抵抗性や構成的抵抗性があり，先在性の抗菌物質や細胞壁の厚さや硬さなどが要因になっている。一方，病原体の攻撃によって新たに誘導される動的抵抗性や誘導抵抗性もある。Kajii *et al.*（2013）は，本病原菌の感染に伴うイチジク組織の変化を詳細に報告した。また，これまで研究蓄積の少ないイチジクの組織構造に関して，新たな知見が見出されるとともに最適化された組織解剖手法が構築された（Kajii *et al.* 2014）。イヌビワやイチジクとの比較観察により，組織構造などの物理的な差異に基づいた静的抵抗性の視点から， BC_1 が有する抵抗性を評価することが可能になるかもしれない。

本研究では，接種（感染）から数ヶ月から数年の単位で発現する樹体が萎凋し枯死に至る変化を中心に調査を行った。将来的には，接種（感染）後，数時間から数日の単位で起こる動的抵抗性にも着目したい。本研究と類似する研究として，アスパラガス茎枯病（stem blight disease）（病原菌：*Phomopsis asparagi*）を対象としたアスパラガス種（*Asparagus officinalis*）と野生種ハマタマボウキ（*A. kiusianus*）との種間交雑体を抵抗性系統として育成

した報告がある (Takeuchi *et al.*, 2017)。この研究において茎枯病抵抗性を示すハマタマボウキは、茎枯病菌接種によりジャスモン酸生合成およびシグナル関連遺伝子群が特異的に発現誘導されることが見出されている (Abdelrahman *et al.*, 2017)。これらの知見を参考にし、本病についても細胞における代謝経路の活性化などの生理生化学的なアプローチにより、BC₁に備わる抵抗性の特性を評価することも今後検討したい。

同じ病原菌であっても生息地域によって宿主植物に対する病原力が異なることが知られており、果樹病害においても白紋羽病菌 (*Rosellinia necatrix*) (中村, 2009) やカンキツかいよう病菌 (*Xanthomonas citri* subsp. *citri*) (塩谷, 2010) の事例が報告されている。本病原菌において、国内産の 14 菌株に関しては ITS 領域内に多型は認められず、遺伝子配列が完全に一致していることが報告されている (三好ら, 2011)。イチジクに対する病原力について、本県の主要な産地から分離した 7 菌株を供試した幼苗接種による枯死状況から評価し、菌株間に明確な差がないことを確認している (森田ら, 2012a)。しかし、本県以外の菌株については病原力に関する報告事例が存在しない。今後 BC₁の抵抗性を評価する基礎データを得るため、国内菌株間の病原力の差異について調査する必要がある。

生産現場に抵抗性台木を普及する際に、本病原菌が台木を通じて穂木へ移行し発病することへの懸念や質問が想定される。この点を検討する際、すでに抵抗性台木品種として登録されている「キバル」の事例が参考になる。

「キバル」の抵抗性を評価するにあたり、定性および定量 PCR 法により接種苗木における本病原菌の分布状況が調査され、地上部の台木長が 25 cm 以上で実用性が確認されている (篠崎ら, 2011)。その結果を踏まえて台木の長さが検討され、台木を長くすることで本病原菌の穂木への感染および発病の抑制が期待され、台木を長く設定する新たな樹形の開発も試みられている (真野, 2015)。一方、イチジクの実産現場で省力樹形として定着している低樹高栽培を行うためには、一文字整枝法では主枝を地表から 50 cm の高さで水平に配置するため (株本, 2005)、台木を含めた主幹長を 40~50 cm 以下に抑える必要がある。また、一文字整枝よりさらに低く主枝を 30 cm の高さで水平に配置し、主幹長を 20~30 cm 以下にする盃状 X 字形整枝法が愛知県を主体に採用されている (真野, 2015)。これまでの幼苗新梢幹部への接種試験において、形成される病斑のサイズがイチジク品種と比べて BC₁では明瞭に小さいことから、樹体内での本病原菌の移行も狭いことが想定される。今後、接ぎ木苗への接種試験により本病原菌の分布状況を調査し、穂木での発病が抑制され、低樹高栽培にも適応可能な主幹長 (台木を含む) で収まる台木として BC₁が活用できるか確認したい。

今後の展望として BC₁の後代において抵抗性台木のみならず抵抗性品種作出の可能性もある。抵抗性品種には、本病への抵抗性に加えて果実形質や生産性が求められる。近年、イチジク「蓬萊柿」のゲノム配列が解読された (Mori *et al.*, 2017)。今後、果実形質や抵抗性に関する DNA マーカーが実用化されれば育種効率が向上し、新たな抵抗性台木や品種開発の加速化が期待できる。

本研究において開発もしくは開発中の防除技術を、本病の発生パターンごとにコストも含めて従来技術と比較

した結果を第 4-1 表に示した。キクイムシの加害防止技術として、従来法と同等の防除効果を保持しながら薬剤処理作業を省力化できる改良技術を提示した。

土壌伝染への防除対策として、殺菌剤の土壌処理体系を提案し、その防除効果を実証した。しかし、毎年約 5 万円 / 10a の費用と多大な手間がかかり、定植後 15 年以上続く栽培期間は毎年この処理を実施する必要がある。15 年間栽培した場合、トータルで約 75 万円 / 10a の防除コストが発生する。このことから、現状の防除回数では本技術の普及性は低いと判断した。これに比べて、もう一つの方法である抵抗性台木による防除技術は、自根樹と同等の栽培管理で良いため生産現場から根強い要望がある。既存の抵抗性台木が導入されて数年が経過した現地からは、栽培品種の自根樹よりも発病抑制効果は認められるが最終的には枯死するため、さらに強い抵抗性台木が求められている。我々は新たな抵抗性台木を作出するため、イチジクとの接木親和性はないが本病に強い抵抗性を有する近縁野生種イヌビワに着目して研究を行い、イヌビワとイチジクの種間交雑第一世代 (F_1) の獲得に成功した。 F_1 はイヌビワ由来の抵抗性を有したが根の生育障害があり実用化には至らなかった。さらに研究を進め、 F_1 とイチジクの戻し交雑により成長性を付与させた BC_1 の獲得に成功した。この BC_1 の中から、イヌビワと同等の抵抗性を有し、 F_1 で問題となった生育面について栽培品種と同等以上で、栽培品種との接ぎ木親和性にも問題がない「励広台 1 号」を選抜した。現在、「励広台 1 号」に栽培品種を接ぎ木した樹体の収量性を含めた実証試験を進めている。新たな本病抵抗性台木が実用化されれば、本病に汚染された圃場であってもイチジクをより省力的に、かつ安定的に生産することが可能になる。これらの研究成果による防除効果を実証しつつ発展させ、将来的に本県だけでなく全国のイチジクの生産振興に貢献したい。

第 4-1 表 広島県におけるイチジク株枯病の発生パターンごとの防除技術開発に関する現状と課題

発生パターン	既存技術	開発技術
アイノキクイムシの介在	イチジクの枝幹に薬剤を処理しキクイムシの加害を防止する技術	<p>○問題点</p> <ul style="list-style-type: none"> ・広島県でのアイノキクイムシの生態は未調査であり、他県のデータから防除時期を設定 ・殺虫剤の原液塗布は、防除効果があっても重労働で現場導入は困難 ・コスト（10a）/年：274,000円 <p>○改良ポイント</p> <ul style="list-style-type: none"> ・広島県におけるアイノキクイムシの発生消長に基づき防除適期を提示 ・殺虫剤の1.5倍液散布は、既存技術と同等の防除効果を維持しつつ、作業時間を短縮しコスト削減（コスト（10a）/年：129,000円（対既存技術比：47.1%））に成功
土壌伝染	殺菌剤を定期的に土壌灌注し、苗木への感染を防止する技術	<p>○問題点</p> <ul style="list-style-type: none"> ・収穫期間に使用可能な殺菌剤がない ・有効な防除体系を提示できず <p>○改良ポイント</p> <ul style="list-style-type: none"> ・収穫時期に使用可能な殺菌剤の登録を支援 ・実証試験の結果を踏まえて、有効な防除体系を提示 <p>○今後の課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・定植時から1ヶ月間隔で年7回、栽種年から毎年処理する必要がある ・イチジクの経済樹齢15年間での防除コスト：728,100円/10a（48,540円/年×15年） ・現状の薬剤処理回数では、コストと労力面から現地への普及は困難
抵抗性台木に栽培品種を接ぎ木した苗木を用いて、株枯病の感染・発病を抑制する技術	○問題点	○改良ポイント（開発中）
<ul style="list-style-type: none"> ・既存の抵抗性台木は、栽培品種の自根栽培と比べて発病抑制効果はあるが早晩枯死する ・さらに強い抵抗性台木への開発要望があるが、シーズがない 	<ul style="list-style-type: none"> ・イチジクとイスビワの種間交雑体を利用した、新たな抵抗性台木の開発に取り組む ・既存の抵抗性台木より強い抵抗性を有していることを確認 	<p>○今後の課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・現在、栽培性を含めた実証試験を実施中

謝 辞

本論文の執筆にあたり、終始懇切なご指導を賜った香川大学農学部秋光和也教授に深謝致します。また、本論文のご校閲を賜り貴重なご助言を頂いた高知大学農林海洋科学部の曳地康史教授、高知大学農林海洋科学部の木場章範教授、愛媛大学大学院農学研究科の小林括平教授、香川大学農学部の五味剣二教授に厚くお礼申し上げます。香川大学農学部在学中に植物病理学の全般に関するご指導を賜った山本弘幸先生に改めて感謝します。

研究の遂行にあたり、神戸大学大学院農学研究科の黒田慶子教授および在学された梶井千永氏、隅田皐月氏にはイチジクの樹体を対象とした組織解剖学的観察手法について、筑波大学生命環境系の山岡裕一教授には株枯病菌の基礎的な扱いから接種試験について、名古屋大学大学院生命農学研究科の梶村 恒准教授にはアイノキクイムシの生態について、それぞれの専門分野の視点から多くのご助言を頂きました。国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構に在籍された中野正明博士、伊藤 伝氏、須崎浩一博士、中村 仁博士、中畝良二博士、兼松聡子博士、足立嘉彦博士、伊藤隆男博士、冨村健太博士には果樹病害の観点から、広島大学大学院理学研究科（現 高知大学農林海洋科学部 准教授）の中野道治特任助教には遺伝子関連の調査手法について、幾度となく有益なご助言を賜りました。岡山県農林水産総合センター農業研究所の井上幸次博士、愛媛県農林水産研究所果樹研究センターに在籍された三好孝典博士、清水伸一氏、篠崎 毅氏、福岡県農林業総合試験場の梶谷裕二氏、愛知県農業総合試験場の永井裕史博士、徳島県農林水産総合技術支援センターの米本謙悟氏、香川県農業試験場府中果樹研究所の生咲 巖氏には、現場での防除対策に関する私の幾多にわたる質問に対して、いつも快くお答え頂きました。この場を借りて厚くお礼を申し上げます。

研究の実施や取り纏めに対してご助言を頂いた広島県立総合技術研究所農業技術センター元センター長の新田浩通氏、センター長の栗久宏昭氏、元次長の平尾 晃氏、次長の大川浩史氏、次長の石倉 聡博士、技術支援部の金好純子博士、果樹研究部元部長の中元勝彦氏、元部長の赤阪信二氏、部長の池田裕朗氏にお礼申し上げます。同研究部に在籍された西川祐司氏、若崎由香氏には、本研究の立案に際してご支援を頂きました。見世大作氏、原 敬和氏には、本論文の根幹となる現地調査にご尽力頂き、同研究部の嘱託職員各位には千本を超える被害樹調査や土壌サンプリングに多くの汗を共に流して頂きました。同研究部の皆様には、研究活動の様々な面でご協力をいただき、業務と学業の両立をする上で多大なるご支援を頂きました。現地調査時には、広島県農業技術指導所の普及指導員、広島県果実農業協同組合連合会の技術員、JA 尾道市の営農指導員の方々に多大なご協力を頂きました。さらに広島県呉市安浦町実成イチジク生産組合の神田農園園主、桐山農園園主、木坂農園園主には、長年に渡る現地調査において格別のご配慮を頂きました。心から感謝いたします。

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構の山崎安津博士、広島県立総合技術研究所農業技術センター生産環境部総括研究員の星野 滋博士、果樹研究部主任研究員の浜名洋司博士（現 食品工業技術センター）、

主任研究員の須川 瞬氏，研究員の白上典彦氏には，新たなイチジク株枯病抵抗性台木「励広台 1 号」の品種登録や特性調査などに共に取り組んで頂きました。

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構の薬師寺 博博士には，イチジクとイヌビワの種間交雑体 F_1 や BC_1 の獲得に代表される，新たな分野を開拓する難しさと楽しさを十数年に及ぶ共同研究を通じて教えて頂きました。広島県立総合技術研究所農業技術センター果樹研究部総括研究員の軸丸祥大博士には，長期的展望を持った研究の進め方について当初からご助言を頂き，調査結果を論文化する際には度重なる書き直しにも常に具体的にご助言を賜りました。この方々からの厳しくも優しい叱咤激励が無ければ，無精者の私が本論文の作成を目指すことはありませんでした。厚く御礼申し上げます。

お力添え頂いた全ての方々，長年にわたり支えてくれた家族に感謝の意を表します。

引用文献

- Abdelrahman, M., Suzumura, N., Mitoma¹, M., Matsuo, S., Ikeuchi, T., Mori, M., Murakami, K., Ozaki, Y., Matsumoto, M., Uragami, A. and Kanno, A. (2017) Comparative de novo transcriptome profiles in *Asparagus officinalis* and *A. kiusianus* during the early stage of *Phomopsis asparagi* infection. *Scientific Reports*.7:2608.
- Condit, I. J. (1947). *The fig*. Waltham, Mass, Chronica Botanica Co.
- Condit, I. J. (1955). *Fig varieties: A Monograph*. Hilgardia. 23:323-538.
- Coulson, R.N. (1979). Population dynamics of bark beetles. *Ann. Rev. Entomol.* 24:417-447.
- 江崎功二郎 (2002) .スカート型トラップによる食材性甲虫類の調査法.昆虫と自然 37 : 24-25.
- 藤戸 茜(2015).人工飼育系におけるアイノキクイムシの繁殖行動に関わる社会的行動—共同穿孔に着目して—.名古屋大学大学院生命農学研究科森林保護学研究分野修士論文.
- 後藤秀章 (2002). 森林をまもる—森林防疫研究 50 年の成果と今後の展望—第一部I.4.1)青変菌を媒介するクイムシ類とその発生生態.全国森林病虫獣害防除協会.東京.pp. 97-109.
- Hillis W.E. (1987). *Heartwood and tree exudates*.pp.268, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris.
- 廣田耕作・加藤喜重郎・宮川寿之 (1984) .イチジク株枯病の薬剤防除について.愛知農総試研報 16 : 211-218.
- 細見彰洋 (1993) .日本産クワ科植物のネコブセンチュウ抵抗性イチジク台木としての有効性.関西病虫研報 35:39-40.
- 細見彰洋・瓦谷光男 (2004) .台木用イチジク品種‘Zidi’および‘King’のイチジク株枯病に対する抵抗性.関西病虫研報 46:29-32.
- 細見彰洋 (2006) .イチジク株枯病抵抗性台木「*Ischia Black* (イスキアブラック)」の選抜.近畿中国四国地域における新技術 6:60-62.
- 細見彰洋・清水伸一 (2008) .抵抗性台木を用いたイチジク株枯病防除技術の開発.農業技術 63 : 358-362.
- Hosomi, A., Y. Miwa, M. Furukawa and M. Kawaradani (2012) .Growth of Fig Varieties Resistant to *Ceratocystis* Canker following Infection with *Ceratocystis fimbriata*. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 81: 159-165.
- 細見彰洋 (2017) .育てて楽しむイチジク-栽培・利用加工-.創森社.東京 pp.8-12.
- 井上幸次・森田剛成 (2011) .テブコナゾール水和剤の株元灌注処理によるイチジク株枯病の防除.日植病 77 : 161-162. (講要)
- 井上幸次 (2014a) .オンリーワンフロアブルを用いたイチジク株枯病の防除.果実日本 69 : 100-103.
- 井上幸次 (2014b) .新しい農薬によるイチジク株枯病の防除.果樹 4 : 17-20.
- 軸丸祥大・森田剛成 (2015) .人工飼育個体群を用いたアイノキクイムシに対する薬剤殺虫効果評価系の開発.応

動昆 59:229. (講要)

株本暉久 (2005) .そだててあそぼ (63) イチジクの絵本.農文協.東京.

Kajii, C., Morita, T., Jikumaru, S., Kajimura, H., Yamaoka, Y. and Kuroda, K. (2013). Xylem dysfunction in *Ficus carica* infected with wilt fungus *Ceratocystis ficicola* and the role of the vector beetle *Euwallacea interjectus*. IAWA Journal 34 : 301-312.

Kajii, C., Morita, T. and Kuroda, K. (2014). Laticifers of *Ficus carica* and their potential role in plant defense. IAWA Journal 35 : 109-115.

梶村 恒・小角隆文・伊藤昌明・軸丸祥大 (2010) .イチジク樹に穿孔するアイノキクイムシの分布域と系統.応動昆 54 : 109. (講要)

梶谷裕二・堤 隆文・山田健一 (1992) .福岡県に初発生したイチジク株枯病について.日植病報 58:111-112. (講要)

梶谷裕二 (1995) .切り枝を利用した土壌からのイチジク株枯病菌の簡易検出法.日植病報 61:229. (講要)

梶谷裕二 (1996) .アイノキクイムシによるイチジク株枯病伝播の可能性.日植病報 62:275. (講要)

梶谷裕二 (1998) .イチジク株枯病菌の伝搬方法と防除対策.今月の農業 6 : 64-67.

梶谷裕二 (1999) .イチジク株枯病菌を媒介するアイノキクイムシの分散時期と保菌部位.日植病報 65:377. (講要)

梶谷裕二 (2001) .イチジク株枯病の虫媒伝染と防除対策.今月の農業 11 : 36-44.

Kajitani, Y. and Masuya, H. (2011) . *Ceratocystis ficicola* sp. nov. , a causal fungus of fig canker in Japan. Mycoscience. 52: 349-353.

梶谷裕二 (2017) .イチジク株枯病やブドウ枝膨病で観察される病原菌の感染戦略.植物病原菌類談話会 17 : 9-20.

加藤喜重郎・廣田耕作・宮川寿之 (1982) .イチジクの新病害'株枯病'.植物防疫 36:55-59.

川口 章・神谷奈多紗・金谷寛子・井上幸次 (2011) .株枯病が疑われるイチジク枯死樹の遺伝子診断方法の改良.近中四農研 18:69-72.

河瀬憲次 (1984) .イチジク.果樹編 5.農文協.

Khoshbakht, K. and K. Hammer (2006). Savadkouh (Iran) – an evolutionary center for fruit trees and shrubs. Genet Resour Crop Evol 53:641-651.

菊池秋雄 (1955) .第 12 章無花果果樹園芸学.上巻(果樹種類各論) 第 4 判.養賢堂.東京.

Kislev, M. E., A. Hartmann and O. Bar-Yosef (2006). "Early domesticated fig in the Jordan Valley." Science 312(5778): 1372-1374.

- 公益財団法人中央果実協会情報部 (2018) .世界の主要果実の生産概況 2017 年
版.http://www.japanfruit.jp/Portals/0/resources/JFF/kaigai/jyoho/jyoho-pdf/KKNJ_134.pdf.
- Kuroda, K., Yamada, T., Mineo, K. and Tamura, T. (1988) .Effects of cavitation on the development of pine wilt disease caused by *Bursaphelenchus xylophilus*. Jpn. J. Phytopathol. 54: 606-615.
- 黒田慶子・山田利博 (1996) .ナラ類の集団枯損にみられる辺材の変色と通水機能の低下.日本林学会誌 78 : 84-88.
- Kuroda, K. (2005) .Xylem dysfunction in Yezo spruce (*Picea jezoensis*) after inoculation with the blue-stain fungus *Ceratocystis polonica*. Forest Pathology 35: 346-358.
- Kuroda, K., Ichihara, Y., Kanbara, Y., Inoue, T. and Ogawa, A. (2005) . Tree Sap III (寺沢実 編) Magnetic resonance micro-imaging of xylem sap distribution in tree stems.pp.149-160.北海道大学出版会.Hokkaido.
- 黒田慶子 (2007) .MRI を使って樹木の病気を診断する.Isotope News 2 月号 : 2-6.
- 真野隆司 (2012) .イチジク低温障害軽減のための栽培技術開発に関する研究.筑波大学大学院生命環境科学研究科先端農業技術科学専攻博士 (農学) 学位論文.
- 真野隆司 (2015) .イチジクの便利作業帳.農文協.東京.
- 榊井農場 (1993) .榊井ドーフィン物語 榊井農場 85 年史.中国新聞社.広島.
- 三好孝典・清水伸一・篠崎 毅・澤田宏之 (2011) .リアルタイム定量 PCR 法によるイチジク株枯病菌の絶対定量および検出.日植病報 77 : 96-104.
- Mori, K., Shirasawa, K., Nogata, H., Hirata, C., Tashiro, K., Habu, T., Kim, S., Himeno, S., Kuhara, S. and Ikegami, H. (2017) .Identification of RAN1 orthologue associated with sex determination through whole genome sequencing analysis in fig (*Ficus carica* L.). Scientific Reports 7: 41124.
- 森田剛成・見世大作・軸丸祥大 (2011) .幼苗を用いたイヌビワとイチジク品種間の株枯病抵抗性の比較.関病虫研報 53 : 51-52.
- 森田剛成 (2012) .広島県におけるイチジク株枯病の発生動向と防除対策.果実日本 67 : 28-31.
- 森田剛成・軸丸祥大・須崎浩一・中村 仁・山岡裕一 (2012a) .広島県に分布するイチジク株枯病菌は新種 *Ceratocystis ficicola* なのか?.日植病報 78:222. (講要)
- 森田剛成・原 敬和・見世大作・軸丸祥大 (2012b) .アイノキクイムシが介在したイチジク株枯病の激害化事例.関病虫研報 54 : 29-34.
- 森田剛成・原 敬和・中野道治・軸丸祥大 (2013) .枝挿し法によるイチジク株枯病菌の土壌からの検出. 関病虫研報.55 : 71-75.
- 森田剛成・原 敬和・軸丸祥大 (2015) .株枯病発生地に定植したイチジク苗木に対する株枯病菌の初期感染時

期の推定.関病虫研報.57 : 87-90.

森田剛成・軸丸祥大・黒田慶子 (2016) .株枯病菌を接種したイチジク苗木における病徴の進展過程 (1) 木部の通水障害と萎凋症状の関係.日植病報.82 : 301-309.

森田剛成・軸丸祥大 (2018) .収穫前日まで使用可能な殺菌剤を加えたイチジク株枯病防除体系の評価.関病虫研報 60 : 77-80.

森田剛成・見世大作・軸丸祥大 (2018) .株枯病汚染土壌へ定植した後に自然発病したイチジク‘蓬萊柿’における外部および内部病徴の観察事例.広島総研農技セ研報.92 : 1-9.

森田剛成・軸丸祥大・須川 瞬・白上典彦・薬師寺 博 (2021) .イチジクとイヌビワの種間交雑体 BC₁ 個体群から選抜した系統「励広台1号」のイチジク株枯病に対する抵抗性評価：イチジク株枯病菌の土壌および新梢有傷接種が幼苗の生存に及ぼす影響.日植病報.87 : 76-79.

向島博行・斉藤 毅・松崎卓志 (1997) .富山県で発生したイチジク株枯病.北陸病虫研報.45 : 33-40.

中村 仁 (2009) .紫紋羽病菌・白紋羽病菌.微生物遺伝子源利用マニュアル.27 : 1-23.

新田浩通・森田剛成・若崎由香・水主川桂宮 (2005) .キクイムシによるイチジク株枯病の伝搬事例.関病虫研報.47 : 95-98.

野方 仁・粟村光男 (2005) .イチジク新品種‘H156-70’の育成.福岡農総試研報 24:104-107.

法村奈保子・山下純隆 (1999) .う蝕原性レンサ球菌の生産する菌体遊離型 Glucosyltransferase の活性評価とその活性に及ぼす農産物抽出物の影響.福岡県農業総合試験場研究報告.18 : 96-100.

法村奈保子 (2004) .地域特産物の生理機能・活用便覧. pp. 429-432.株式会社サイエンスフォーラム.東京.

Paine, T. D., Raffa, K. F. and Harrington, T. C. (1997). Interactions among scolytidae bark beetles, their associated fungi, and live host conifers. Ann. Rev. Entomol. 42:179-206.

佐藤公一 (1953) .養賢堂版農学大系園芸部門 無花果・梅・杏・李編.養賢堂.東京.

清水伸一・三好孝典 (1999) .イチジク株枯病の発生生態と当面の防除対策.植物防疫.53 : 25-27.

清水伸一・三好孝典・越智政勝・橘 泰宣 (1999) .愛媛県におけるイチジク株枯病の発生-チオファネートメチル・トリフルミゾール水和剤による防除-.愛媛果樹試研報 13 : 27-35.

清水伸一・三好孝典・細見彰洋 (2008) .PCR 検出技術を利用したイチジク株枯病菌の樹体内における動態確認とその品種抵抗性評価への応用.四国植防.43 : 17-21.

篠崎 毅・三好孝典・清水伸一・野方 仁・井上義章 (2011) .抵抗性台木によるイチジク株枯病の防除.日植病.77 : 153. (講要)

塩谷 浩 (2010) .カンキツかいよう病菌 *Xanthomonas citri* subsp. *citri*.微生物遺伝子源利用マニュアル.29 : 1-

11.

- 白石友紀・秋光和也・一瀬勇規・寺岡 徹・吉川信幸 (2012) .新植物病理学概論 pp.147-193.養賢堂.東京.
- Storey, W. B. (1975). Figs. Advances in fruit breeding. Indiana, Purdue University Press.
- Takeuchi, Y., Kakizoe, E., Yoritomi, R., Iwato, M., Kanno, A., Ikeuchi, T., Mori, M., Murakami, K., Uragami, A.
Matsumoto, M., Masuda, J., Sakai, K. and Ozaki, Y. (2017). Features in Stem Blight Resistance Confirmed in
Interspecific Hybrids of *Asparagus officinalis* L. and *Asparagus kiusianus* Makino. The Horticulture Journal Preview.
- 外側正之 (改訂, 瓦谷光男・三輪由佳) 1996 (改訂 2012) .イチジク株枯病.病害虫診断防除編 7.農山漁村文化
協会.pp. 23-30.
- 外側正之・増井伸一・野村明子・増井 (塩崎) 弘子 (1999) .イチジク株枯れ症状の発生と防除.静岡柑試研報
28:51-62.
- Yakushiji, H., Morita, T., Jikumaru, S., Ikegami, H., Azuma, A. and Koshita, Y. (2012). Interspecific hybridization of fig
(*Ficus carica* L.) and *Ficus erecta* Thunb. , a source of Ceratocystis canker resistance. Euphytica. 183:39-47.
- Yakushiji, H., Morita, T. and Jikumaru, S. (2019) Ceratocystis canker resistance in BC₁ populations of interspecific
hybridization of fig (*Ficus carica*) and *F. erecta*. Scientia Horticulturae 252: 71-76.
- 山田一成 (2004) .「蓬菜柿」開心自然形 2 本主枝.農業技術体系 第 5 卷.農山漁村文化協会.pp. 1-10.

本論文は、2019年2月19日に愛媛大学大学院から授与された博士（農学）の学位論文を基に編集したものである。また、当該の学会より許諾を得て転載していることを付記しておく。

BULLETIN
OF
THE HIROSHIMA PREFECTURAL TECHNOLOGY RESEARCH
INSTITUTE
AGRICULTURAL TECHNOLOGY RESEARCH CENTER
NO.96

CONTENTS

Understanding the occurrence pattern of Ceratocystis canker of fig
in Hiroshima Prefecture and development control techniques.

Takeshige MORITA

Hiroshima Prefectural Technology Research Institute
Agricultural Technology Research Center
(Higashihiroshima, Hiroshima Prefecture, 739-0151 Japan)
March, 2023