

ミニ特集：果樹類白紋羽病の温水治療技術

温水治療技術の概要と展望

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 果樹研究所 ^{なか}中 ^{むら}村 ^{ひとし}仁

はじめに

白紋羽病は、土壌生息性の子のう菌類である白紋羽病菌 (*Rosellinia necatrix*) によって引き起こされ、ナシ、リンゴやブドウ等多くの果樹生産に対して大きな損失を与える重要な土壌病害である。白紋羽病菌は果樹根の表面を伸展した後 (口絵①), 組織内に侵入して腐敗させ、さらに木質部を腐朽させる。根冠部全体に感染がおよぶと地上部が衰弱し、葉の小型化や黄化、早期落葉、新梢の生育不良や果実の結実不良・小玉化が認められる。このような地上部での病徴が顕著に現れた樹は早ければ症状を呈した当年中に枯死に至る。白紋羽病の防除は極めて困難で、罹病根などの伝染源が長期間残存することや土壌中で病勢が進行するため対策が遅れがちになることから、被害がまん延することも少なくない。本病の防除対策としては、罹病根の除去あるいは樹勢の維持・回復といった耕種的な対策を除くと化学薬剤による防除のみが有効な手段となっているのが現状である。しかし、土壌環境への影響が危惧されるなど、環境保全型の防除技術の開発が強く求められている。

環境保全型防除技術として、温水を土壌表面に点滴処理することによって果樹 (ナシ、リンゴ) の白紋羽病罹病樹を治療する技術が開発され (EGUCHI et al., 2008; 江口ら, 2009 a) (口絵②), 合わせて、専用の温水処理機が実用化に至っている。しかし、本技術を果樹栽培地域に広く適用させるためには解決すべき点が残されており、また、本技術および本処理機を利用することで新たな技術開発が可能である。そこで、農林水産省「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」の援助により研究課題「環境負荷低減を実現する果樹類白紋羽病の温水治療法の確立」(2010～12年)に取り組み、問題点の解決技術を開発して温水治療技術を確立し、新技術の開発によって温水治療技術の発展性を得たので、ミニ特集として紹介する。

本記事では、巻頭言にかえて、温水治療技術および専

用の温水処理機等について概説するとともに、温水治療技術の将来性について提言する。

I 温水治療技術の概要

1 白紋羽病菌の死滅条件

白紋羽病菌は他の糸状菌と比較して熱耐性が低く、本菌を培養した枝片を温水に浸漬した場合には、35℃で3日間、40℃では5時間、45℃の場合では10～30分で死滅する。一方、果樹に対する熱の影響については、ナシ樹では45℃程度であれば根に障害は発生しないことが酵素活性分析により明らかにされた (EGUCHI et al., 2008; 江口ら, 2009 a)。以上から、地温を35℃以上、45℃以下に維持することによって、果樹には影響を与えずに白紋羽病菌を殺菌できる、つまり、罹病樹を治療できる。ただし、40℃温水では土壌中の白紋羽病菌を殺菌できる温度に達しにくく、また、60℃温水では樹に障害が発生する場合があることから、最終的に50℃温水を使用することとしている。

2 温水治療の手順

温水の処理は、地表面に点滴することで行う。灌注器を用いて温水を注入することも可能であったが (江口ら, 2009 b), 灌注ノズルをまんべんなく差し込んで温水を注入しないと温度ムラが生じてしまうことに加え、労力を要する。したがって、時間は要するが、温水を点滴することで効率よく安定した結果を得ることができる。

具体的には以下のような手順で温水点滴処理を行う。

- ①罹病樹を中心とした範囲の地表面に灌水用点滴チューブを置く。当初、罹病樹を中心としてチューブを螺旋状に広げる、あるいは楕形に並べることにしていたが (江口ら, 2009 a), 現在では、扱いやすいようにチューブを井形状に組んで作った点滴器具を用いている (図-1)。
- ②温水を点滴する際には、点滴器具全体を保温シート (農業用マルチフィルムでよい) などで覆う (口絵③)。
- ③チューブから50℃の温水を点滴する。
- ④温水点滴中は、チューブが配置されている範囲内の任意の3箇所で地温の計測を行う。
- ⑤温水の点滴は、3箇所地下30 cmが35℃に達し

Overview and Prospects of Hot Water Treatment against White Root Rot on Fruit Trees. By Hitoshi NAKAMURA

(キーワード：白紋羽病, 温水, 治療, ナシ, リンゴ, ブドウ, 拮抗菌)



図-1 温水点滴処理機

左：温水点滴処理機本体，右上：点滴器具，下：器具運搬車（灯油タンク積載）いずれも販売されているものと同型。

た時点，あるいは1箇所でも地下10 cmが45℃に達した時点で終了する。この条件を温水点滴処理における基本条件と位置づけている。

温水点滴処理によって地下30 cmが35℃に達した後は，処理を終了しても，その後も地下30 cmの場所では48時間以上の長時間にわたって35℃程度に維持される。

3 温水点滴処理機

温水点滴処理を行うためには，温水を供給する手段を要する。既存の熱水土壤消毒機などを利用することが可能であるが，白紋羽病治療用の温水点滴処理機が製作されている（図-1）。この機械は，1～2人で運搬可能な小型のもので，棚仕立ての果樹園内にも容易に持ち込むことができる。この温水点滴処理機については，「白紋羽病治療用温水点滴処理機」（図-1で示した点滴器具と器具運搬車を含む）として，日本園芸農業協同組合連合会（日園連）を販売元（製造元はエムケー精工株式会社）として2010年に販売が開始された。この機械を使用して，上述した温水点滴処理の基本条件を充足するまで地温を上昇させるには，おおよそ，時間は4～6時間，水量は800～1,000 lを要する。この機械を使用する場合には水（上水，井水）のほか，灯油と電気が必要となるが，機械購入費を除くと1樹当たりの処理費用は約500円と試算されている。オプションとして，地温をセンサーで感知して温水点滴処理機からの温水の供給を自動で停止できる監視装置も販売されている。

なお，上記温水点滴処理機については，現時点では条件付きでの販売となっている。これは，現地で温水点滴処理を行う際には，機械を揃えることだけではなく，今回紹介した処理の手順や様々な問題に対処できるようなサポート体制が備わっていないと実的な普及が難しいことを考慮して，そのような体制が準備できている地域を対象に先行して販売を開始しているということである。2013年6月現在で3県（長野県，茨城県，千葉県）で販売が行われており，順次，販売対象県などを増やしていく予定である。

II 最新技術および最新知見

1 従来技術における未解決点

白紋羽病の温水治療技術は，従来，平坦地での露地栽培（黒ボク土や褐色森林土の圃場）のナシ樹とリンゴ樹を対象としていた（口絵②）。これは，傾斜地で温水点滴処理した際に治療効果が劣る場合があったことや他の果樹における熱耐性が不明なためである。また，これまでの現地試験などにおいては，病勢が進んだ樹では処理後も回復に至らず枯死する例が認められた。このことは，薬剤防除などにおいても同様であるが，治療を成功させるには感染初期あるいは軽症樹であることが重要であることを示す。したがって，早期診断を行って温水治療対象樹を判定することが必要となる。これらの問題を解決するための技術開発については本特集記事「傾斜地

栽培における温水治療技術の開発」および「温水治療対象樹の判定技術の開発」において解説しているが、これらの技術を開発したことで白紋羽病の温水治療技術としての骨格は確立できたと判断している。

温水治療にかかわる副次的な事例として、温水点滴処理を行ったナシ樹における細根量の増加や定植後のナシ幼木における初期生育の促進についての観察例がある（江口ら，2009 a）。しかし、それについての詳細な検討はなされていなかった。さらに、温水治療技術の普及を進める中で、現場からは治療技術だけではなく改植時に伴う発病跡地の消毒技術の開発を求める声が多く挙がった。したがって、本特集記事「熱水の利用技術の開発」においてはそれらに対応した技術開発および試験結果について解説している。

本記事では、対象とする樹種の適用拡大として行ったブドウ樹に対する温水治療技術の開発、そして温水治療効果における土壤微生物の働きに関する知見を紹介する。

2 ブドウ樹に対する温水治療

施設栽培などで白紋羽病による被害の大きいブドウ樹を対象として温水治療技術の適用を検討した（井上・中村，2012；2013）。まず、ブドウ樹根の温水熱に対する耐性程度を調べたところ、鉢植えブドウ樹（‘マスカット・オブ・アレキサンドリア’（ハイブリッドフラン台）、‘ピオーネ’（テレキ5BB台））においては45℃で6時間、50℃で3時間までは障害が発生せず、ナシやリング樹と比較すると5℃程度熱耐性が高いと考えられた。圃場試験については、試験1として、ガラス室圃場のブドウ樹（‘マスカット・オブ・アレキサンドリア’（ハイブリッドフラン台））を用いた試験を行った。白紋羽病菌の培養枝片を接種源として根部に発病させた後に50℃温水を点滴処理し、その約1年後に根部での発病の有無を調べたところ、無処理樹では発病根率約60%であったが、処理樹では発病根率5%であり、治療効果が認められた。約2年後の調査においては、無処理樹で発病率約90%となったが、処理樹では発病率20%と再発は認められたものの治療効果が持続されていた。試験2として行った、加温ハウス5圃場における自然発病樹に対して温水点滴処理した結果においても、一部で白紋羽病の再発が認められたものの、処理1年後における治療効果が認められている。

以上のように、従来と同様の処理条件によって白紋羽病罹病ブドウ樹および施設栽培樹における治療が可能であることが示されたことから、現在、温水治療はナシ、リングおよびブドウ樹に対して適用可能としている。

3 治療効果における土壤微生物の働き ～温水と土壤微生物との相乗作用～

温水治療は温水の熱によって白紋羽病菌を殺菌して治療効果を得る、物理的手法による防除法であると考えられていた。しかし、地温が30℃までしか上昇しなかった場合でも高い治療効果が得られる場合や温水処理した後に罹病根上や罹病根周辺に一般に拮抗菌として知られる *Trichoderma* 属菌が大量に増殖している場合などの観察事例が認められている（口絵③）。*Trichoderma* 属菌は、多くの植物病原菌に対する生物防除資材として利用されており、これまで白紋羽病菌に対する拮抗菌として報告された微生物のうち、約1/3が *Trichoderma* 属菌によるものである（中村，2009）。実際に、ナシ樹の罹病根の周辺土壌とナシ樹が植えられていない場所の土壌を比較すると、罹病根の周辺土壌において *Trichoderma* 属菌の密度が高いことが示されている（図-2）。そのような事例や調査結果、および室内試験の結果から、治療効果には拮抗性的な土壤微生物（以下、拮抗菌）の働きが寄与していると考えられた（中村ら，2011）。

それは、おおよそ以下のような現象と推測される。

- ①白紋羽病菌が根の表面に伸展すると同時に、周辺土壌に生息していた拮抗菌も増殖する。ただし、このとき、病原菌の生長を抑えるまでには至らない。
- ②温水点滴処理によって白紋羽病菌の多くが死滅する。
- ③死滅した白紋羽病菌を基質（餌）として拮抗菌が大

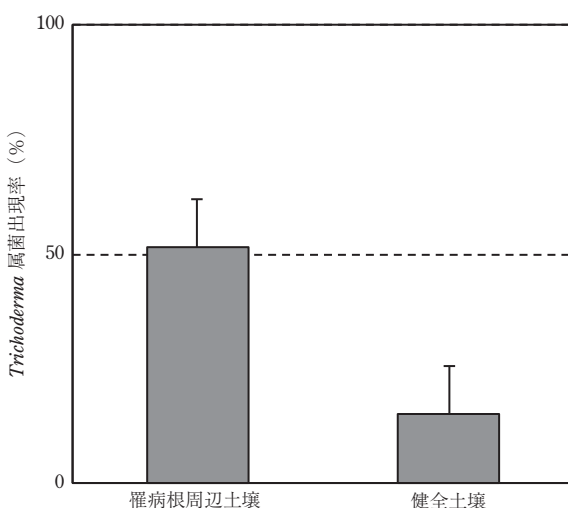


図-2 ナシ圃場における罹病根周辺土壌と健全土壌における *Trichoderma* 属菌の出現頻度の差異
圃場内3箇所から採集した各土壌試料に白紋羽病菌を培養した枝片を埋設後、回収した枝片を培地上にスタンプした後に培地上に出現した菌を調査した。

量に増殖する。

- ④大量増殖した拮抗菌が温水熱で死滅しなかった白紋羽病菌をも死滅させる。

このように、温水処理による高い治療効果は、温水と拮抗菌との相乗作用が働いた結果と考えられる。

さらに、拮抗菌は治療効果に寄与するだけではなく、温水処理後に増殖した拮抗菌がそのまま果樹根の周辺に分布することで治療効果の持続性にもかかわっている可能性がある。

III 温水治療技術の今後の方向性

1 土作りの重要性和微生物資材の活用

温水治療によって得られる高い治療効果には、土壤微生物の働きが大きな役割を果たしていると考えられた。このことは、温水治療を効果的・効率的に行うには土作りも重要であることを意味する。すなわち、化学性や物理性の改善を始めとして、多様な微生物相を有し、白紋羽病菌に対する土着の拮抗菌が豊富に含まれる土壤とすることを念頭に、土壤改良や施肥、あるいは下草管理を通じて生物性の改善を行うことが求められる。それにより、仮に白紋羽病が発生した場合でも温水治療による高い治療効果と持続性が確保される。生物性の改善を実現するには、実際にどのような資材や管理法が有効であるか評価を行う必要がある。現在、その有用性を評価できる手法を開発中であるが、そのような評価法を用いて、各地域や各圃においてどのような土作りが有効であるかを明らかにできるだろう。

既存あるいは新規の微生物資材を活用することも可能と考えられる。白紋羽病菌に対して拮抗的に働く微生物を含む資材を温水治療と併用することで、元々の圃場土壤に含まれる微生物が貧困であったとしても、それを補って治療効果を上昇させることができる。ただし、土着の拮抗菌と比較すれば定着性や持続性を確保することは困難と考えられるので一過性の措置となるが、必要ときに治療効果を得られるとすれば有効な手段になるに違いない。現在、土着の拮抗菌を活用した微生物資材の開発にも着手しており、将来的には任意の圃場に生息する土着の拮抗菌を活用して高い温水治療効果を得ることができると考えている。

2 温水治療および温水点滴処理機の適用拡大

現在、温水治療が適用されている樹種は、ナシ、リンゴおよびブドウの3樹種であり、その他の樹種についてはモモやオウトウ等の核果類やビワ等で試験を行っている状況である。試験中の一部の樹種では温水熱に対する耐性が低いことが示唆されているが(近藤, 2013), 上

述のように治療効果には拮抗菌が関与していることが考えられることから、仮に処理温水の温度を低めに設定したとしても治療効果が得られると想定される。

また、白紋羽病以外の土壤病害に対しても温水治療は可能であると考えられる。白紋羽病菌よりも高い熱耐性を有していたとしても、拮抗菌の働きを活用することで十分な効果が得られることが期待できる。実際、紫紋羽病菌は白紋羽病菌よりも高い熱耐性を有するが、白紋羽病と同じ温水処理条件でリング紫紋羽病罹病樹の治療が成功した例がある(近藤, 2013)。他病害についても、治療効果が得られる可能性が高い。

他樹種あるいは他病害への適用拡大に際しては、少なくとも土壤中に十分量の拮抗菌が含まれていれば、安定した、かつ高い治療効果を得ることが期待できる。このような目的では、土作りや微生物資材の活用を図ることがより一層必要となろう。

販売中の温水点滴処理機は白紋羽病治療用としての用途のみに限定されているが、本機ボイラー部の性能としては熱水(60～80℃)の供給も可能である。そのため、本特集記事「熱水の利用技術の開発」にあるように熱水処理による試験も行っている。実際に使用しているのは熱水処理仕様にした試験機であるが、将来的には熱水処理を可能とした製品の販売を実施できればと考えている。熱水・土壌消毒用の大型機械も販売されているが、圃場全体の処理ではなく局所的な処理を行う場合、棚仕立ての圃場で大型機械が搬入できない場合や少数樹の改植時などで本機が役立てるものと思われる。

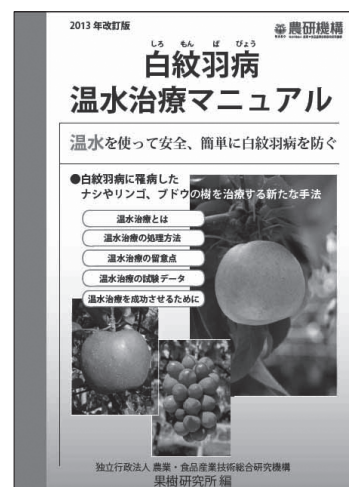


図-3 「白紋羽病 温水治療マニュアル 2013 年改訂版」の表紙

おわりに

本記事および本特集の他記事で紹介された技術や知見を含め、白紋羽病の温水治療技術の手順や治療効果などの具体的データについては、「白紋羽病 温水治療マニュアル 2013 年改訂版」（農研機構果樹研究所発行、図-3）として農研機構ホームページ（URL: <http://www.naro.affrc.go.jp/>）に掲載されている。本マニュアルは 2010 年に作成されたものを改訂した最新版である。本マニュアルには白紋羽病の早期診断法や白紋羽病と類似病害との見分け方なども記載されているので、温水治療技術に限らず生産現場において役立つものと考えている。今後にも必要に応じて改訂する予定であり、適宜、参考にしていただければ幸いである。

温水あるいは温熱は、白紋羽病の温水治療のみならず

農業分野において様々な活用されており、今後も新たな効果が見いだされる可能性がある。さらに、既存の技術と組合せた新たな使用法が開発されることもあり得るだろう。温水治療技術を長期的あるいは多面的に応用していくことで、新たな視点に基づいた病害防除技術あるいは果樹園管理技術が構築されることに期待したい。

引用文献

- 1) EGUCHI, N. et al. (2008): J. Gen. Plant Pathol. **74**: 382 ~ 389.
- 2) 江口直樹ら (2009 a): 植物防疫 **63**: 127 ~ 130.
- 3) ————ら (2009 b): 関東東山病虫研報 **56**: 59 ~ 62.
- 4) 井上幸次・中村 仁 (2012): 日植病報 **78**: 54 (講要).
- 5) ———— (2013): 平成 25 年度日本植物病理学会大会講演要旨予稿集 **98**.
- 6) 近藤賢一 (2013): 平成 24 年度寒冷地果樹研究会資料, 51 ~ 61.
- 7) 中村 仁 (2009): 微生物と植物の相互作用—病害と生物防除—, ソフトサイエンス社, 東京, p. 275 ~ 281.
- 8) ————ら (2011): 土と微生物 **65**: 145 (講要).

登録が失効した農薬 (25.7.1 ~ 7.31)

掲載は、**種類名**、登録番号：**商品名**（製造者又は輸入者）登録失効年月日。

「殺虫剤」

●ナミヒメハナカメムシ剤

20014：オリスター（住友化学）13/7/29

「殺虫殺菌剤」

●エトフェンプロックス・カスガマイシン・フサライド水和剤
17347：ホクコーカスラブレボン水和剤（北興化学工業）
13/7/13

●ブプロフェジン・MEP・フサライド・フルトラニル粉剤
20001：アブロードスミモンラブ F 粉剤 DL（日本農薬）13/
7/17

●カルタップ・ブプロフェジン・フルトラニル粉剤
20002：アブロードパダンモンカット F 粉剤 DL（日本農薬）
13/7/17

「殺菌剤」

●ジラム・チウラム水和剤

13882：パルノックス水和剤（大内新興化学工業）13/7/9

●銅水和剤

15553：ホクコーコサイドボルドー（北興化学工業）13/7/21

15554：三共コサイドボルドー（三井化学アグロ）13/7/21

15558：三共コサイドボルドー（三井化学ケミカル）13/7/21

●銅・プロシミドン水和剤

16434：住化スクレタン水和剤（住友化学）13/7/10

●タラロマイセス フラバス水和剤

20659：バイオトラスト水和剤（出光興産）13/7/12

「除草剤」

●DCBN 粒剤

20000：タケダ園芸ベンポール粒剤（住友化学園芸）13/7/7

●グリホサートイソプロピルアミン塩液剤

20013：三共の草枯らし（三井化学アグロ）13/7/29

●カルフェントラゾンエチル水和剤

21306：石原タスク DF（石原バイオサイエンス）13/7/8

●オキサジアルギル・グルホシネート粉粒剤

21980：ワルクサバイバイ V 微粒剤（バイエル クロップサイ
エンス）13/7/18

●アジムスルフロン・シハロホップブチル・テニルクロー ル・ベンスルフロンメチル粒剤

21984：トリデ A1 キロ粒剤 36（北興化学工業）13/7/18

「農薬肥料」

●カルタップ複合肥料

16915：くみあいエムシロン 042（ジェイカムアグリ）13/7/9

17365：くみあいエムシロン IBH5 号（ジェイカムアグリ）13/
7/25

19261：くみあいエムシロン 440（ジェイカムアグリ）13/7/9