

ミニ特集：果樹類白紋羽病の温水治療技術

熱水の利用技術の開発

—発病跡地消毒と生育促進効果—

千葉県農林総合研究センター ^{しおた}塩田 ^{あづさ}あづさ・鈴木 ^{すずき}達哉 ^{たつや}達哉
茨城県農業総合センター 園芸研究所 ^{しみず}清水 ^{あきら}明

はじめに

白紋羽病は、永年性作物である果樹類に深刻な被害を及ぼす土壌病害である。本病については、土壌表面に50℃の温水を点滴処理することでナシおよびリンゴの白紋羽病罹病樹を治療する技術が開発され（江口ら、2009 a）、専用の温水処理機が作製・市販されている。現在、実用化されている温水治療技術では、50℃の温水で地表から深さ30 cm地点が35℃、あるいは深さ10 cm地点が45℃に達するまで点滴処理を行うことによって軽症樹での治療が可能である。しかし、衰弱が激しい重症樹では温水点滴処理を行っても、回復には至らずに枯死する場合がある。このような罹病樹では改植する必要があるが、罹病樹を抜根した後の跡地土壌（以下、発病跡地と記す）では、白紋羽病菌が根などで、長期間にわたり残存するため、苗木を植え付けても本病が再発して、数年以内に苗木が枯れてしまう可能性が高い。

白紋羽病菌はフザリウム属菌などの他の土壌病原菌に比べて高温耐性を欠いている（KHAN, 1959）。また、発病跡地では樹体の高温障害の発生回避を考慮する必要があるため、50℃の温水より高温である60～80℃の熱水を使用することが可能である。よって、温水治療技術を応用して、発病跡地に熱水を処理することで、土壌中の白紋羽病菌を殺菌し、その後定植・育成した幼木での発病を抑制できる可能性がある。さらに、促成トマトなどを始めとする多くの作物では、95℃の熱水土壌消毒によって、土壌病害の抑止効果に加えて、生育促進効果が確認されている（北・植草、2007）。このことから、ナシやリンゴ等の果樹類の幼木でも、土壌への熱水点滴処理によって、初期生育を促進する効果が得られる可能性が考えられる。

そこで、筆者らは、温水治療技術を応用して、ナシ白紋羽病発病跡地を熱水で消毒する技術の開発に取り組ん

だ。本稿では、専用の温水処理機（以下、温水処理機と記す）を使用した熱水点滴処理による発病跡地での消毒効果および処理後に定植した幼木の生育促進効果について、病原菌の死滅条件などの基礎的知見、および現地試験や生育調査の結果について紹介する。

なお、本試験は、新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業「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）」の助成を受けて実施した。

I 熱水点滴処理による白紋羽病菌の死滅条件の検討

白紋羽病菌の温度による死滅条件は、EGUCHI et al. (2008) によって詳細に調査されている。それによると、ナシ枝に接種した病原菌を湯浴中で加温したところ、35℃では2日間で著しいダメージを受け、3日間で死滅した。死滅に要する時間は、処理温度の上昇に伴って指数的に減少し、40℃では5時間で、45℃では30分間であった。

一方、筆者らは、発病跡地の土壌中に存在する白紋羽病菌を殺菌することを前提とした熱水点滴処理による消毒技術を開発するため、以下の方法で病原菌の温度別死滅条件を調査した。

土壌含水率を熱水点滴処理時の状態に近い含水比（水分重量/乾土重量×100）80%に調製した黒ボク土の中に、病原菌を接種しまん延させたナシ枝を埋め込み、湯浴中で地温が湯浴の温度と同じになるまで加熱した。設定地温を35、45、55および65℃として、各設定地温を一定時間維持した後、25℃の恒温室内で放熱させた。処理開始1週間後にナシ枝を掘り出し処理開始1週間後にナシ枝を掘りだし、合成培地上において病原菌の菌糸が伸長するかによって生死を確認した。その結果、地温45℃、25分間では菌糸の伸長がやや抑制されたものの死滅には至らず、125分間で死滅した。同様に、地温55℃では5分間で、地温65℃では1分間で死滅した（表-1）。一方、地温35℃では40時間でも死滅しなかった。このことから、土壌中に存在する白紋羽病菌の殺菌には、地温45℃では125分以上の条件が必要と考えら

Application of Hot Water Soil Sterilization in Japanese Pear Cultivation. By Azusa SHIOTA, Tatsuya SUZUKI and Akira SHIMIZU

（キーワード：ナシ、白紋羽病、温水点滴処理、発病跡地、熱水消毒、生育促進）

表-1 白紋羽病の死滅に必要な地温と時間

地温 (℃)	処理時間						
	1 分間	5 分間	25 分間	125 分間	10 時間	21 時間	42 時間
35	—	—	—	—	×	×	×
45	—	×	×	○	—	—	—
55	×	○	○	—	—	—	—
65	○	○	○	—	—	—	—

「○」は死滅した, 「×」は死滅しなかった, 「—」は未調査を示す。

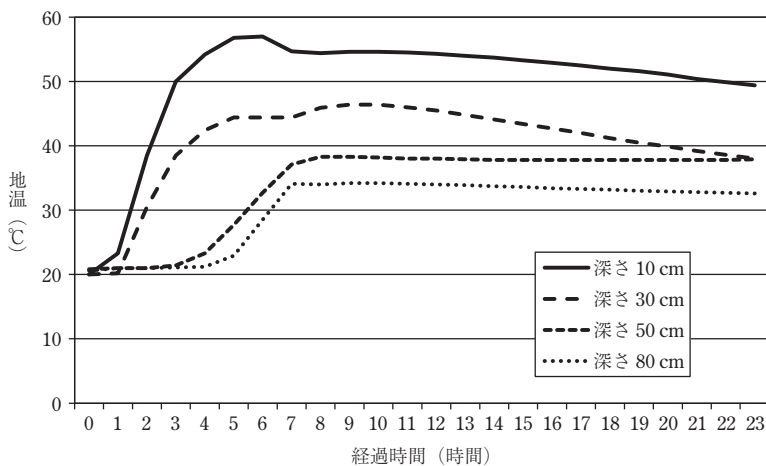


図-1 熱水点滴処理 (80℃) による深さ別の地温変化
処理経過 6 時間後に処理を終了した。

れた。

次に, 実際の露地圃場でも熱水点滴処理を行うことで, 上記の死滅条件を確保できるかについて, 以下の方法で検討した。2010 年 10 月上旬に, 千葉県農林総合研究センター内芝草圃場 (表層腐植質黒ボク土壌) に熱水処理仕様とした温水処理機を用いて, 80℃の熱水を 6 時間処理した。このときの処理水量は 475 l/m²であった。処理時に深さ 10, 30, 50, 80 cm における地温を 1 時間ごとに測定した結果, 深さ 10 cm では, 処理開始 5 時間後に最高温度 57℃に達し, 処理終了後は徐々に低下した。深さ 30, 50, 80 cm では, 処理開始 9 時間 (送水停止 3 時間) 後にそれぞれ最高温度 46, 38, 34℃に達し, その後徐々に低下した (図-1)。この事例以外でも, 透水性が極端に悪い一部の圃場を除いた多くの圃場では熱水点滴処理を行うことで同程度の地温を確保できた。このことから, 80℃の熱水点滴処理によって, 深さ 30 cm までの地温が 45℃以上に達することがわかった。

さらに, 実際の圃場でも熱水点滴処理により罹病根上の白紋羽病菌を殺菌できるかについて以下の方法で調査

表-2 熱水点滴処理 (80℃) による罹病ナシ根上の白紋羽病菌の死滅割合

罹病根の直径 (cm)	2 ~ 3	3 ~ 5	5 ~ 7
処理区	21/21 ^{a)}	12/12	5/5
無処理区	11/26	3/8	1/7

a) 分母が供試罹病ナシ根数, 分子がそのうち白紋羽病菌が死滅したナシ根数を示す。

した。白紋羽病菌が目視で確認できる直径 2 ~ 7 cm の自然発生した罹病ナシ根を上記芝草圃場の深さ 30 cm の地点に埋め込んだ。2011 年 6 月中旬に, 温水処理機 (熱水処理仕様) を用いて, 80℃の熱水を 6 時間処理して, 処理区とした。このときの処理水量は 540 l/m², 処理終了時の深さ 30 cm の地温は, 50 ~ 69℃だった。対照として, 処理区と同じ条件の罹病ナシ根を埋め込み, 熱水点滴処理を行わない無処理区を設けた。1 か月後に罹病ナシ根を掘り出して病原菌の生死を調査した。その結果, 処理区では, 直径 2 ~ 7 cm のすべての罹病ナシ根上の白紋羽病菌が死滅した (表-2)。一方, 無処理区では,

処理区に比べると病原菌が死滅せずに残っている罹病ナシ根が多かった。無処理区で、一部の罹病ナシ根上の白紋羽病菌が死滅した要因としては、ナシ根組織が分解されたのに伴って死滅した可能性が考えられた。

以上の結果から、発病跡地に熱水点滴処理することで、土壤中に残存する白紋羽病菌を殺菌し、その密度を低減させる効果が期待できることがわかった。

II 発病跡地で熱水点滴処理後に定植・育成した苗木・幼木の発病について

熱水点滴処理を行った場合、その後に定植・育成した苗木・幼木に白紋羽病が再発するかを確認するため、以下の方法で調査した。

試験は千葉県八街市のナシ圃場（表層腐植質黒ボク土壌）で過去に苗木を定植しても数年間で枯死した白紋羽病発病跡地で行った。この圃場内で白紋羽病により連続して枯死した幼木4本を抜根後2～3年間そのまま草生管理していた3.5 m × 15 mの区画について、2.25 m × 3 mを1回の処理面積として合計2.25 m × 9 mを熱水点滴処理し、処理区とした。対照区として、熱水点滴処理を行わない区画（2.25 m × 6 m）を設けた。熱水点滴処理は2011年1月下旬～2月中旬に、温水処理機（熱水処理仕様）を用いて、75℃の熱水を6.5時間処理した（口絵⑥）。このときの処理水量は230～320 l/m²であった。処理時に16地点の地温を深さ30 cmの位置で1時間ごとに測定した。その結果、処理終了時の深さ30 cmの地温はほとんどの地点で45℃以上に達していた。

同年3月下旬に、‘幸水’マメナシ台木1年生苗木を処理区に6本、対照区に4本の計10本定植した。定植時に薬剤は使用しなかった。その後、定期的に育成した幼木の枯死本数を調査し、枯死幼木については白紋羽病菌の有無を確認した。その結果、処理区の幼木は、いずれも2012年10月現在まで白紋羽病の発症および枯死は認められていない。しかし、対照区では定植・育成した4幼木すべてが同時期までに枯死し、根部から白紋羽病菌が確認された（表-3、口絵⑥）。

以上の結果から、熱水点滴処理を行うことで、白紋羽病が激発した跡地でも病原菌の殺菌が可能だと考えられた。

III 定植前の土壌への熱水点滴処理がナシ幼木の生育に及ぼす影響

温水点滴処理は、白紋羽病に対して治療効果が認められることに加え、処理した白紋羽病罹病のナシ樹においては細根の発根促進、樹勢回復等生育促進が認められている（江口ら、2006；2009 b）。温水あるいは熱水利用

表-3 熱水点滴処理（75℃）の有無による幼木の白紋羽病による枯死本数

熱水点滴 処理	供試苗木数 (本)	白紋羽病感染により枯死した幼木数(本)			
		2011.6	2012.1	2012.6	2013.1
処理区	6	0	0	0	0
対照区	4	0	1	4	4

処理日：2011年1月下旬～2月中旬、定植日：2011年3月下旬。

技術は、白紋羽病防除と生育促進の二つの効果が期待できるが、生育促進に着眼した検討は十分にはなされていない。そこで、白紋羽病に汚染されていない定植前土壌に対して熱水点滴処理を行い、その土壌を用いて育成したナシ幼木の生育に及ぼす影響を検討した。

2012年4月に茨城県園芸研究所内の白紋羽病に汚染されていない作物未作付け土壌（表層腐植質黒ボク土壌）へ熱水点滴処理を行い、この土壌にナシ苗木を定植し、当年育成した幼木の生育状況を調査した。処理区は、80℃熱水、50℃温水、常温水、無処理の4区を設けた。温水処理機を使用して、80℃熱水区は深さ30 cmの地温が60℃になるまで80℃の熱水を処理し、50℃温水区は深さ30 cmの地温が35℃に達するまで50℃の温水を処理し、常温水区は80℃熱水区と同水量の水道水を処理した。各区における処理水量は、80℃熱水区が256 l/m²、50℃温水区が240 l/m²、常温水が260 l/m²であった。処理1週間後に各処理区の土を不織布ポット（容量30 l）へ充てんし、‘幸水’マメナシ台木1年生苗木を各区5樹定植した。不織布ポットに定植した苗木は圃場に埋設し、苗木長が接木部から1 mの所で切り戻し、生育期間中の芽かきや新梢摘心は行わずに栽培した（口絵⑦）。

以上のように育成した幼木について、苗木定植時に基部径を、11月の落葉後に基部径、発生新梢数、新梢長を調査した。また、12月に幼木を掘上げ、根の乾物重を調査した。

その結果、80℃熱水区では細根量の増加が認められ、定植前土壌への熱水点滴処理が地下部の生育に影響を与えることが確認できた（表-4、図-2、口絵⑦）。しかし、50℃温水区では細根量の増加は認められなかった。また、各処理区間でのナシ幼木の生育期および休眠期の幹断面積増加量や新梢数、新梢長に差はなく、地上部生育への影響は認められなかった（表-5）。

本試験においては、熱水点滴処理による地上部の生育促進効果は見られなかったが、2011年に実施した同様の試験では、80℃熱水区の新梢の生育が無処理区よりも

優れる傾向であった(表-5)。また、共同研究を行った長野県(淡色黒ボク土壌)においても熱水点滴処理によって新梢の伸びが長くなるなど地上部の生育促進効果が認められた(伊原ら, 未発表)。生育促進効果をもたらす要因については、熱水点滴処理による地温の上昇が土

壤肥料成分の溶出や濃度に作用し、それによる影響が考えられるが、土壌肥料面からの調査や検証は行っていないため、現時点では不明であり、今後明らかにする必要がある。

これらのことから、年次変動や土壌条件の違いによる変動はあるものの、定植前土壌への熱水点滴処理はナシ幼木の生育促進に効果があることが明らかになった。

おわりに

本稿では、温水治療技術を応用して、ナシ苗木の定植前に熱水点滴処理することによる発病跡地での白紋羽病の発病抑制効果および幼木での生育促進効果について紹介した。

白紋羽病発生圃場では罹病樹の根やその周辺土壌中に菌糸が伸長して周辺の樹まで連続して感染する事例が多い。そのため、罹病樹を確認した場合は、その周辺の樹にも罹病の可能性を想定した対策を行わなければ、圃場内での白紋羽病の発生を止めることは困難である。

この温水および熱水を利用した技術は、設定温度を変

表-4 定植前の土壌に対する熱水および温水点滴処理がナシ苗木地下部の乾物重に及ぼす影響(2012)

処理区	地下部乾物重 ^{a)} (g)			
	細根 (1 mm ≧)	中根 (1 ~ 10 mm)	太根 (10 mm <)	合計
80℃熱水	21.71 a	81.45	50.41	153.57
50℃温水	15.20 b	75.07	55.60	145.87
常温水	12.62 b	58.72	78.71	150.05
無処理	10.34 b	75.03	75.85	161.22
分散分析 ^{b)}	***	n.s	n.s	n.s

a) 12月に苗木を掘上げ、根の直径1mm以下を細根、1~10mmを中根、10mm以上を太根として区分。

b) 分散分析は、***:0.1%水準で有意差があり、多重比較はTukey検定で異なる文字間で有意差あり(P<0.05)。

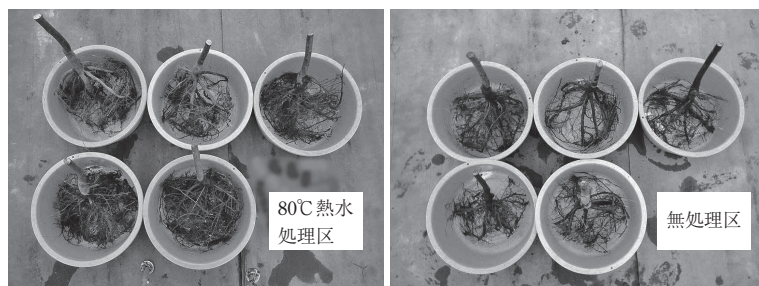


図-2 80℃熱水処理区(左)と無処理区(右)の根部の様子(2012)

表-5 定植前の土壌に対する熱水および温水点滴処理がナシ苗木地上部の生育に及ぼす影響

処理区	2012 年				2011 年 ^{d)}				2012 年			2011 年 ^{d)}		
	幹断面積 ^{a)}		増加量 (cm ²)	増加率 (%)	幹断面積 ^{a)}		増加量 (cm ²)	増加率 (%)	新 梢数 ^{b)} (本)	総新 梢長 ^{b)} (cm)	平均新 梢長 ^{b)} (cm)	新 梢数 ^{b)} (本)	総新 梢長 ^{b)} (cm)	平均新 梢長 ^{b)} (cm)
	(cm ²)				(cm ²)									
	定植時	落葉後	定植時	落葉後										
80℃ 熱水	2.52	5.23	2.71	208	1.53	3.96	2.42	260	6.8	576	93.7	6.8	454 a	77.4 a
50℃ 温水	2.16	4.75	2.59	219	1.61	3.33	1.72	213	6.8	496	77.1	6.8	278 b	54.0 b
常温水	2.33	5.15	2.82	221	1.64	3.87	2.23	245	6.8	572	86.6	6.8	331 a	62.7 ab
無処理	2.31	5.41	3.10	234	1.59	3.68	2.09	236	6.4	633	103.6	6.4	326 a	56.4 b
分散分析 ^{c)}	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.		n.s	n.s	n.s	n.s	*	*

a) 幹断面積:接木部から10cmの苗木基部の長径、短径を計測し、楕円面積として算出。

b) 落葉後に10cm以上の伸長が認められる新梢を対象とした。

c) 分散分析は、*:5%水準で有意差があることを示し、多重比較はTukey検定で異なる文字間で有意差あり(P<0.05)。

d) 2011年は、2012年と同様な試験を実施した(ただし、各処理区に用いたナシ苗木は7本)。

えることにより、温水での軽症樹の治療と熱水での発病跡地の消毒とを効率的に行える技術として利用ができる。このため、発病跡地には熱水点滴処理による消毒、その周辺樹には白紋羽病がすでに感染している可能性を考慮し、温水点滴処理による治療を始めることができるため、効率的な白紋羽病防除が行えると考えられる。

ただし、本技術を普及させるには、熱水点滴処理による消毒効果の持続期間および処理面積や処理適期について、さらに検討を進める必要がある。これらの点を明らかにし、白紋羽病の防除技術を確立すべく、今後も継続して試験に取り組んでいく予定である。

またこの熱水利用技術は、発病跡地への消毒として有効であるほか、幼木での生育促進効果が認められたことから、新改植や補植における無発病土壌に対しても活用できる技術と考えられるため、この熱水点滴処理は改植・早期成園化を図るための手段の一つとしても期待できる技術である。

引用文献

- 1) 江口直樹ら (2006): 日植病報 **72**: 273 (講要).
- 2) ———ら (2009 a): 植物防疫 **63**: 127 ~ 130.
- 3) ———ら (2009 b): 関東病虫研報 **56**: 59 ~ 62.
- 4) EGUCHI, N. et al. (2008): J. Gen. Plant Pathol. **74**: 382 ~ 389.
- 5) KHAN, AH (1959): Berl. Biol. Lahore **5**: 199 ~ 245.
- 6) 北 宜裕・植草秀敏 (2007): 植物防疫 **61**: 73 ~ 78.

新しく登録された農薬 (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）登録年月日、有効成分：含有量、**対象作物**：対象病害虫：使用時期等。ただし、除草剤・植物成長調整剤については、**適用作物**、**適用雑草**等を記載。

〔殺虫殺菌剤〕

●クロラントラニプロール・ピメトロジン・チアジニル粒剤
23302：ブイゲットフェルテラチェスL粒剤（日本農業）13/7/24
クロラントラニプロール：0.75%
ピメトロジン：3.0%
チアジニル：6.0%
稲（箱育苗）：いもち病、白葉枯病、イネミズゾウムシ、イネドロオイムシ、ウンカ類、ツマグロヨコバイ、コブノメイガ、フタオビコヤガ：移植3日前～移植当日

〔殺菌剤〕

●フェンピラザミン水和剤
23298：ピクシオ DF（住友化学）13/7/2
フェンピラザミン：50.0%
かんきつ、ぶどう、いちご、きゅうり、トマト、ミニトマト、なす：灰色かび病：収穫前日まで
きゅうり、トマト、ミニトマト、なす：菌核病：収穫前日まで
●フルオピラム水和剤
23299：オルフィンフロアブル（バイエルクロップサイエンス）13/7/2

ス）13/7/2

フルオピラム：41.7%
なし、もも、ネクタリン：黒星病：収穫前日まで
なし：黒斑病：収穫前日まで
すもも、おうとう：灰星病：収穫前日まで
ぶどう：灰色かび病：収穫前日まで
●トリホリン乳剤
23301：微量注入用ウッドキング DASH（サンケイ化学）13/7/10
トリホリン：15.0%
なら類：萎凋病：着葉期、但し紅葉始期まで

〔除草剤〕

●d-リモネン乳剤
23300：カダン オレンジパワー（フマキラー）13/7/10
d-リモネン：10.0%
樹木等（公園、庭園、堤とう、駐車場、道路、運動場、宅地のり面、鉄道等）：一年生雑草、多年生雑草、コケ類：

発生予察情報・特殊報 (25.7.1 ~ 25.7.31)

各都道府県から発表された病害虫発生予察情報のうち、特殊報のみ紹介。**発生作物**：**発生病害虫**（発表都道府県）発表月日。都道府県名の後の「初」は当該都道府県で初発生の病害虫。

※詳しくは各県病害虫防除所のホームページまたはJPP-NET (<http://www.jpnp.ne.jp/>) でご確認下さい。

■ハイビスカス：モトジロアザミウマ（栃木県：初）7/1
■トマト：トマト萎凋病〔レース3〕（山口県：初）7/1
■トルコギキョウ：トルコギキョウえそ輪紋病（広島県：初）7/1

■トマト：トマト黄化病（千葉県：初）7/10
■キク：キク茎えそ病（高知県：初）7/29
■キク：キク茎えそ病（和歌山県：初）7/31