

ニホンナシの改植における抜根後の高温水点滴処理が 白紋羽病菌抑止性及び定植後の生育に及ぼす影響

平井達也・高橋真秀*1

キーワード：ニホンナシ，白紋羽病，いや地現象，フルアジナムSC，高温水点滴処理

I 緒 言

千葉県内で栽培されているニホンナシは樹齢 30 年を超えるものが多く、老木化により生産力が年々低下しており、改植が重要な課題になっている。改植は既存の樹を抜根し、同じ場所に苗木を定植して樹を育成するケースが多いが、その際に現場で大きな障害となっているのが白紋羽病による樹の生育不良や枯死、いや地現象による生育不良である。白紋羽病の病原菌は子のう菌類に属する *Rosellinia necatrix Prillieax* で、土壌中に長期間生存して伝染源となり、感染すると樹が衰弱してひどい場合は枯死に至る。白紋羽病に防除効果のある薬剤はいくつかあるが、千葉県の生産現場においてはフルアジナム SC (商品名：フロンサイド SC, 石原バイオサイエンス株式会社) の土壌かん注処理が一般的となっている。しかし、白紋羽病の決定的な対策には至っておらず、多くの生産者は慢性的な被害に悩んでいるのが現状である。

一方、独立行政法人農研機構果樹研究所 (現国立研究開発法人農研機構果樹茶業研究部門) は複数の研究機関と共同で白紋羽病温水治療技術を開発し、白紋羽病温水治療マニュアルを公表した (農研機構果樹研究所, 2013)。温水治療は白紋羽病菌が 33.7°C では 8 時間、38.8°C では 3 時間で死滅する (江口, 2005) との知見をもとに、専用の温水処理機を用いて 50°C 程度の温水を点滴処理し、白紋羽病菌を死滅させる技術である。さらに、改植に関しては前作樹抜根跡地に 60°C 以上の高温水を点滴処理する高温水点滴処理 (以下、高温水処理) が技術確立された (農研機構果樹研究所, 2015)。高温水処理は生育中の樹の株元土壌に処理を行う温水治療よりも高温で行うため、より確実に土壌中の白紋羽病菌を死滅させることができる。

しかし、平井ら (2017) は千葉市、八街市の黒ボク土

の現地圃場において、高温水処理後に苗木を定植したところ、定植 2 年目には白紋羽病の感染が確認され、高温水処理のみでは効果の持続性が短いことが示唆された。また、八街市の現地圃場においては、爪楊枝法 (Takahashi and Nakamura, 2020) による土壌の有する白紋羽病抑止性の評価値から、高温水処理はフルアジナム SC 剤や微生物資材等との併用により抑止性が向上することが示唆された。土壌の有する白紋羽病抑止性の評価値は土壌中の拮抗菌の作用を示すと考えられており (Takahashi and Nakamura, 2020)、殺菌剤であるフルアジナム SC 剤との併用による抑止性の向上は過去に報告がなく、再確認が必要である。

改植におけるもう一つの問題として挙げた、いや地現象による生育不良について、戸谷ら (2012) はニホンナシでは改植圃場での定植 2 年目の樹の生育量は「幸水」で新植圃場の 53~64%、「あきづき」では 25~68% であったと報告している。一方、著者らは栽培跡地に高温水処理を行い、定植した苗木の生育が良好となることをしばしば観察してきた。それらは供試本数が少なく、また樹によって生育のばらつきが大きいことから、統計的な有意性は確認できなかったが、ニホンナシのいや地現象を引き起こす原因の一つが前作樹の根から分泌された物質であれば、高温水処理により根域付近の土壌から流出し、生育不良が回避できた可能性がある。

高温水処理が白紋羽病の感染、いや地現象による生育不良の 2 つの問題を改善できるのであれば、改植を良好に進める有力な手段であると言える。そこで本研究では、千葉県のナシ産地の多くを占める黒ボク土の圃場において、高温水処理とフルアジナム SC、高温水処理と微生物資材をそれぞれ併用した場合の土壌の有する白紋羽病菌抑止性に及ぼす影響の確認と、高温水処理によるいや地現象の軽減効果について検討した。その結果、一定の知見が得られたので報告する。

II 材料及び方法

1. 高温水処理とフルアジナム SC 剤、微生物資材との併用後の白紋羽病抑止性 (試験 1)

試験は千葉県農林総合研究センターの果樹圃場 (千葉

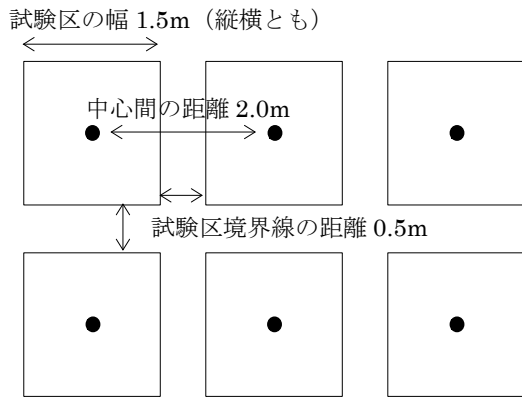
2022 年 8 月 8 日受領 (Received August 8, 2022)

2022 年 12 月 1 日登載決定 (Accepted December 1, 2022)

*1 現千葉県農林水産部担い手支援課

本報告の概要は、園芸学会平成 29 年度春季大会及び平成 31 年度春季大会において発表した。

市緑区、表層腐植質黒ボク土)で実施した。当該圃場は白紋羽病の発生地ではなく、本試験を実施する前の数年間は更地で管理されていた。試験開始に当たっては、試験を実施する範囲全体の地表面をロータリーで耕うんした。1.5 m×1.5m の範囲を1試験区とし、各試験区の中心間の距離を2mとして2×3で配置して1ブロックとし(第1図)、4ブロックを設定した。



第1図 ブロック内の試験区の配置(試験1)

試験区は高温水処理区、高温水+薬剤区、高温水+微生物資材区、薬剤区、微生物資材区、無処理区の6区を設け、各ブロック内に無作為に配置した。2015年12月14日~21日のうちの6日間に、エムケー精工株式会社(長野県千曲市)が試作した温水処理機(写真1)を用い、各ブロック3か所(高温水処理区、高温水+薬剤区、高温水+微生物資材区)、計12か所について高温水処理を行った。なお、温水処理機は現在同社から日本園芸農業協同組合連合会を通じて販売されている温水処理機(EB-1000)とほぼ同じ機能を持つものである。



写真1 温水処理機

高温水処理は1か所の範囲を1.5m×1.5mとし、2か所同時に行った。温水処理機の温度の設定は70℃とし、

水は地下水を水源とする水道から送水し、点滴処理はかん水チューブ(スミサンスイマルチ60,住化農業資材株式会社)を用い、処理中心地点の地下30cmの地温を温度測定ロガー(エスベック社製サーモレコーダーミニRT-30S)で測定した。1回の点滴処理は7時間前後とし、点滴量は532~765L/m²(平均625L/m²)、地下30cmの最高地温は50.6~65.1℃(平均57.6℃)であった。

各試験区の処理について、高温水処理区は高温水処理のみを行った。高温水+薬剤区は高温水処理を行った1.5m×1.5mの範囲を畦畔板で囲い、2016年1月9日にフルアジナムSC500倍液50Lをかん注して土壤に浸透させた。高温水+微生物資材区は高温水処理を行った1.5m×1.5mの範囲の外周に土で高さ10cm程度の土手を作り、2016年4月25日に水和剤タイプの土壤改良資材(商品名:トリコデソイル,アリストライフサイエンス株式会社)2,000倍液10Lをかん注し、土壤に浸透させた。薬剤区は高温水処理を行っていない地点の1.5m×1.5mの範囲にフルアジナムSC剤を高温水+薬剤区と同じ日(2016年1月9日)に同濃度、同量をかん注した。微生物資材区は高温水処理を行っていない地点の1.5m×1.5mの範囲に高温水+微生物資材区と同じ資材を同じ日(2016年4月25日)に同濃度、同量かん注した。無処理区は一切の処理を行わなかった。なお、各試験区には1年生「幸水」を2016年1月に定植したが、良質の苗木が十分数確保できず、苗木径や苗木長、根量の個体間差が大きかったため、調査による生育比較は行わなかったが、定植後の新梢の発生等について著しく不良なものもなかった。

2016年10月6日に、爪楊枝法(Takahashi and Nakamura, 2020)により、土壤の白紋羽病抑止性を評価した。すなわち、各試験区内の株元の地表から5cm~10cm下の土壤を、1試験区につき3地点を採取して混合し、プラントボックス(6cm×6cm×10cm)に160mL充填した。次に、長さ6.5cmの爪楊枝に白紋羽病菌を接種し、23℃で3~4週間培養することで白紋羽病菌を爪楊枝全体に付着させた。爪楊枝の先端1cmの白紋羽病菌を45℃の温水に1時間浸漬させて死滅させ、プラントボックス内の土壤に土壤表面から3cm挿し込んだ。その後プラントボックスを23℃の温度条件下に置き、1か月後に爪楊枝上の白紋羽病菌の死滅域長を測定した。本試験ではこれを供試土壤における白紋羽病抑制効果の指標とした。ただし、本評価方法は同じ調査地点でも季節によって値が大幅に変化すること等から、今回は無処理区を基準として相対的に評価することとした。

統計処理はJMP5.0.1aを用い、評価値を目的変数、処理区を説明変数、ブロックをブロック効果とし、一元配置分散分析及びTukey-KramerのHSD検定を行った。

2. 高温水、常温水の点滴処理が後作の樹の生育に及ぼす影響

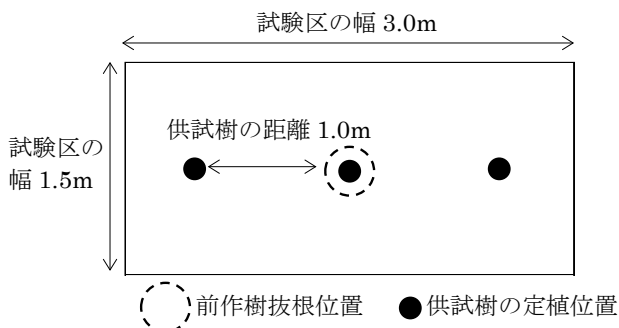
(1) 高温水処理、常温水処理、客土処理を行った後に定植した「あきづき」の生育（試験2）

試験は千葉県農林総合研究センター果樹研究室圃場（千葉市緑区、表層腐植質黒ボク土）で行った。2016年11月に波状棚仕立ての16年生「幸水」21樹をバックホーで抜根した。いずれの樹も白紋羽病の罹病は確認されなかった。抜根時に掘り上げた土は混和して埋め戻し、ロータリーで地表面を耕うんした。

試験区は高温水区、常温水区、客土区、無処理区の4区を設け、高温水区では反復数6、他の試験区では反復数5で無作為に配置して、それぞれで以下の処理を行った。

高温水区は試験1で用いた温水処理機を用い、2016年12月9日～12月26日の間の6日間に高温水処理を行った。1か所の範囲は3.0m×1.5m、1回の処理時間は5～7時間、点滴量は427～747L/m²（平均598L/m²）、処理機の設定温度は70℃、地下30cmの最高地温は38.2～62.1℃（平均53.7℃）であった。常温水区は2017年2月10日～2月22日の5日間に、地下水を水源とする水道から水を送水し、高温水処理と同じかん水チューブを用いて点滴処理を行った。1か所の範囲は3.0×1.5m、1回の処理時間は5時間程度、点滴量は450～568L/m²（平均505L/m²）であった。客土区は2017年1月11日、1月12日に抜根跡地点を中心に3.0m×1.5m、深さ30cm程度の土壌をバックホーで掘り上げて取り除き、そこから約100m離れた地点の地表から深さ30cm程度までの土壌を掘り上げて運搬し、客土した。この客土を掘り上げた圃場は過去に果樹の栽培歴はなく、本試験以前の数年間は他の作物の栽培もなく、更地で管理されていた。

2017年2月28日に「あきづき」（ヤマナシ台）1年生苗木を、各試験区の前作樹のあった地点とそこから両側1m離れた地点に各1本、計3本定植した（第2図）。



第2図 試験区内の供試樹の定植位置（試験2）

施肥は全ての供試樹に対し定植1年目は2017年3月24日に基肥として有機配合肥料（商品名：有機アグレット673特号）を1樹当たり700g（窒素量42g）施用し

た。定植2年目は2018年3月23日に有機配合肥料（商品名：光ねぎ美人エース）を1樹当たり500g（窒素量60g）施用した。施用は株元周辺に行い、生育期間中の追肥は行わなかった。

樹の生育中は新梢管理や誘引は一切行わず、病虫害防除は防除暦に従い実施した。定植後に樹の地際10cm上の主幹径を測定し、2017年7月、11月、2018年6月、11月に同じく主幹径及び新梢長を測定した。2018年1月に1年生枝を基部1cm程度残して切断し、生体重及び乾物重を測定した。乾物重は90℃設定の通風乾燥機で10日程度乾燥した後に測定した。2019年2月に樹を根から掘り上げ、1年生枝、主幹、根に分け、生体重を測定後、前年の1年生枝と同様に通風乾燥機で乾燥させ、乾物重を測定した。

定植前に客土区を除くそれぞれの処理区について、地下10cmの土壌を3か所採取して混和し、定植前の土壌サンプルとした。採取日は高温水区及び無処理区は2017年1月10日、常温水区は2月24日とした。また、全ての試験区について、定植約3か月後の2017年5月20日に処理範囲で施肥を行っていない地点の土壌を、定植前と同じ方法で採取した。採取した土壌はビニルで密封して5℃設定の冷蔵庫に貯蔵した。これらの土壌サンプルについて、無機態窒素量を測定するとともに、根圏土壌アッセイ法（戸谷ら、2020）によりいや地リスクを評価した。

無機態窒素の測定は2017年10月に行った。採取した土壌を風乾、粉碎して2mmの篩を通した後、乾土5gに10%KCl50mLを加えて30分間振とうした後、ろ紙（ADVANTEC円形定性ろ紙No.6）を用いてろ過し、フローインジェクション分析装置（アクア・ラボ製、FA-100）で無機態窒素（硝酸態窒素、アンモニア態窒素）を測定した。

根圏土壌アッセイ法は2017年6月に行った。採取した土壌を60℃で24時間乾燥させた後、組織培養用マイクロプレート（マルチディッシュ6ウェル、ヌンク社）に1穴当たり3g入れた。その後、溶解させた0.75%低温ゲル化寒天（ナカライテスク社）を5mL注入し、凝固してからさらに5mLを注入した。対照として、寒天のみを5mL注入し、凝固後さらに5mLを注入した区を設けた。凝固後、レタス種子（品種名：「レガシー」）を1穴につき5粒播種した。播種後、マルチディッシュをアルミホイルに包んで遮光し、暗黒条件で25℃に設定したインキュベーターに48時間置いた後、伸長したレタスの根の長さを測定した。対照区の根長を基準に、供試土壌での根長がどの程度短くなったかを阻害率として算出した（阻害率（%）＝（対照の根長の平均値－供試土壌の根長の平均値）／対照の根長の平均値）×100）。測定

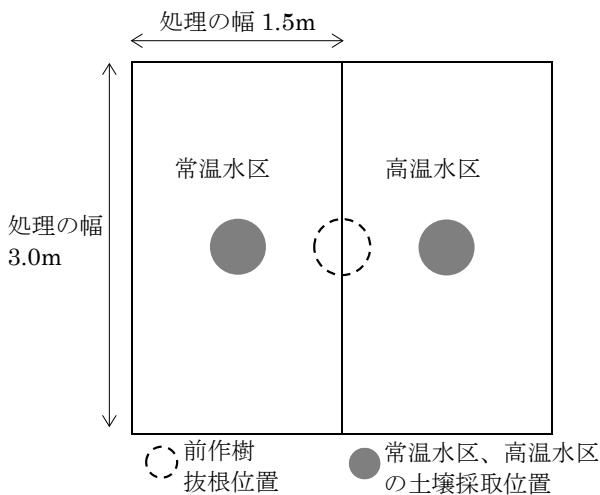
複数は3とした。

統計処理はJMP5.0.1aを用い、各調査測定値を目的変数、処理区を説明変数とし、一元配置分散分析及びTukey-KramerのHSD検定を行った。

(2) 高温水処理、常温水処理を行った土壌を用いて栽培したホクシマメナシの生育(試験3)

千葉県農林総合研究センター果樹研究室圃場(千葉県緑区、表層腐植質黒ボク土)で栽培している21年生「なつひかり」、24年生「ゴールド二十世紀」及び43年生の未登録系統で複数の品種を高接ぎで栽培していた2樹の計4樹を、2017年12月上旬にバックホーで掘り上げて抜根した。いずれの樹も白紋羽病の罹病は確認されなかった。抜根時は3m四方程度の範囲の土を掘り取り、混和して埋め戻し、中央部の土を採取して直径26cm、容量12.2Lの不織布ポットに充填した。

ロータリーで地表面を耕うん後、各栽培跡地を中央で2等分して西側を常温水区、東側を高温水区とし、それぞれに常温水、高温水の順で点滴処理を行った(第3図)。



第3図 抜根位置と処理範囲、土壌採取位置(試験3)
注) 抜根後3.0×3.0mの範囲で土壌を掘り上げて混和し埋め戻した

常温水処理・高温水処理は2017年12月15日～12月28日の間に行った。常温水処理は試験1、試験2と同じかん水チューブを用い、地下水を水源とする水道から水を送水した。1回の処理時間は3時間程度、1回の処理範囲は3.0m×1.5m、点滴水量は400～477L/m²(平均434L/m²)であった。高温水処理は試験1、試験2と同じ温水処理機を用い、設定温度は70℃、1回の処理時間は3時間程度、1回の処理範囲は3.0m×1.5m、点滴水量は400～440L/m²(平均418L/m²)とし、地下30cmの最高地温は45～62.8℃(平均52.1℃)であった。

2018年1月5日に各処理中央部の地下10cm付近の土壌を採取して直径26cm、容量12.2Lの不織布ポットに充填した。以上の処理により、抜根直後、常温水処理

後、高温水処理後の土壌を充填したポットをそれぞれ処理前区、常温水区、高温水区とし、遮光シートで覆って雨除け施設にて保管した。なお、抜根した4樹についてそれぞれ上記の処理を行い、土壌を採取したため、各処理のポット数は4(反復数4)である。

2018年3月12日に1年生ホクシマメナシ実生を、保管してあった各ポットにそれぞれ4本植え付け、土の高さが周辺と同じになるように土中に埋めて同年12月まで栽培・管理した。管理中施肥は行わず、随時除草、かん水を行った。また、不織布ポットに土壌を充填した直後に、土壌の一部を採取してビニルに密封して5℃の冷蔵庫に保管し、2018年3月に試験2と同様に無機態窒素量及び根圏土壌アッセイ法によるいや地リスクを評価した。

2018年12月4日に地際10cm上の主幹径、新梢長を測定した後に、根を切らないようにポットから抜き取り、地上部及び地下部に分けて90℃で5日間乾燥させ、乾物重を測定した。

統計処理はJMP5.0.1aを用い、各調査測定値を目的変数、処理区を説明変数、各抜根樹地点をブロック効果とし、一元配置分散分析及びTukey-KramerのHSD検定を行った。

(3) ナシ樹株元土壌を透過させる水の温度がいや地リスクに及ぼす影響(試験4)

千葉県農林総合研究センター果樹研究室圃場で栽培している37年生「豊水」、32年生「幸水」、12年生「幸水」の3樹の株元地下20～30cmで根の下側の土壌をそれぞれ2017年9月27日、10月11日、10月20日に採取した。採取した土壌を直ちに2mmの篩にかけ、25gを秤量してろ紙(ADVANTEC円形定性ろ紙No.1)上に置き、漏斗を利用して、水温を10℃、25℃、50℃、70℃に調整した水(地下水水源)50mLを流し、透過させた。なお、用いる土壌の量と水量については白紋羽病防除時における高温水処理の処理範囲と水量から算出した。すなわち、高温水処理を1.0m²当たり500L点滴処理とした場合、地下30cmまでの土壌容積は300Lで、使用する水量は土壌容積の約1.6倍となる。黒ボク土の仮比重を0.81(千葉県・千葉県農林水産技術会議,2018)とした場合、採取直後の土壌重量25gの容積は30.9mL、必要な水量はその1.6倍の約50mLとなる。水を透過させた土壌と透過させなかった土壌を60℃で24時間乾燥させ、試験2で行った根圏土壌アッセイ法でいや地リスクを調査した。

また、直径5.5cmのシャーレに小粒バーミュキュライト2gを入れ、レタス種子(品種名:「レガシー」)を10粒播種し、上記の各水温で土壌を透過した水(以下、透過水)を10mL加えた。対照区は土を透過していない地下水源の水を用いた。播種後にシャーレに蓋をかぶせて

パラフィンテープで密封し、根圏土壌アッセイ法と同様に 25℃の暗黒条件下で 48 時間置き、レタス根の長さを測定した。測定の反復数は 3 とした。測定したレタス根長から試験 2 と同様に阻害率を算出した。

Ⅲ 結 果

1. 高温水処理とフルアジナム SC 剤、微生物資材との併用後の白紋羽病抑止性（試験 1）

各試験区の土壌の白紋羽病抑止性の評価値を第 4 図に示した。無処理区の白紋羽病死滅域長は 4.2mm であった。無処理区を 100 とした場合、各処理区の白紋羽病死滅域長は微生物資材区が 147 (6.2mm)、薬剤区が 157 (6.6mm)、高温水区が 105 (4.4mm)、高温水+微生物資材区が 148 (6.2mm)、高温水+薬剤区が 297 (12.5mm) であった。抑止性評価値の一元配置分散分析の結果、p 値

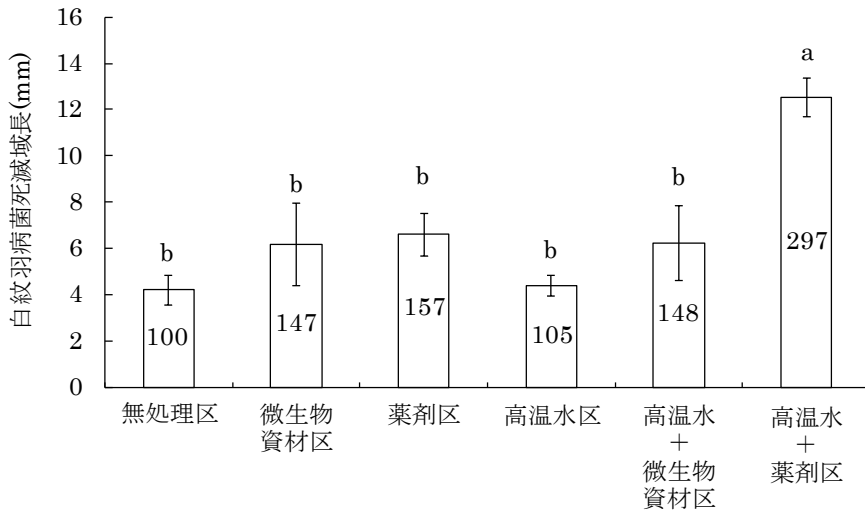
は 0.0015 で試験区間に有意差が認められた（データ省略）。各処理区間について、高温水+薬剤区と他の処理区間に 5%水準で有意差が認められた。

2. 高温水、常温水の点滴処理が後作の樹の生育に及ぼす影響

(1) 高温水処理、常温水処理、客土処理を行った後に定植した「あきづき」の生育（試験 2）

各処理後に定植した「あきづき」の主幹径の推移を第 1 表に示した。定植 1 年目は 11 月下旬で高温水区が 21.5mm で最も太く、次いで客土区 20.9mm、無処理区 19.7mm、常温水区 18.8mm の順であり、各試験区間に有意差は認められなかった。

定植 2 年目は 11 月下旬で高温水区が 35.4mm で最も太く、次いで客土区 33.7mm、無処理区 31.7mm、常温水区 30.2mm の順であり、高温水区と常温水区間に有意差が認められた。



第 4 図 土壌が有する白紋羽病抑止性の評価値（試験 1）

- 注 1) 高温水処理は 2015 年 12 月に行った。
 2) 薬剤は 2016 年 1 月に、微生物資材は 2016 年 4 月にかん注した。
 3) 抑止性評価の土壌の採取は 2016 年 10 月に行った。
 4) 図中の数値は無処理区を 100 とした場合の割合を、縦棒は標準誤差を示す。
 5) 異なる文字間には Tukey-Kramer 法により 5%水準で有意差があることを示す。

第 1 表 主幹径の推移（試験 2）

処理区	定植1年目(mm)			定植2年目(mm)	
	3/31	7/5	11/22	6/1	11/29
常温水区	12.6	15.4	18.8	20.5	30.2 b
高温水区	13.0	16.5	21.5	23.6	35.4 a
客土区	12.9	16.4	20.9	22.7	33.7 ab
無処理区	13.6	16.3	19.7	21.7	31.7 ab
分散分析 (p値)	0.7329	0.7946	0.1572	0.1634	0.0156

- 注 1) 2016 年 11 月に 16 年生「幸水」21 樹を抜根し、各処理を行った。反復数は高温水区が 6、他は全て 5 で、無作為に配置した。
 2) 異なる文字間には Tukey-Kramer 法により 5%水準で有意差があることを示す。

第2表 総新梢長の推移 (試験2)

処理区	定植1年目(cm)			定植2年目(cm)	1年目+2年目 (cm)
	5/19	7/5	11/22	11/29	
常温水区	74	84 b	217 ab	993 b	1,210 b
高温水区	98	135 ab	351 a	1,598 a	1,949 a
客土区	84	157 a	321 ab	1,394 ab	1,715 ab
無処理区	73	80 b	193 b	1,113 b	1,305 b
分散分析 (p値)	0.3589	0.0048	0.0124	0.0080	0.0046

注1) 総新梢長は発生した全ての新梢長の合計。

2) 定植1年目の1年生枝は2018年1月に基部1cmを残して切断した。

3) 異なる文字間には Tukey-Kramer 法により 5%水準で有意差があることを示す。

第3表 1年生枝, 主幹, 根の生体重 (試験2)

処理区	1年生枝生体重(g/樹)			主幹 (g/樹)	根 (g/樹)	2年間の生体重 合計(g/樹)
	定植1年目	定植2年目	2年間合計			
常温水区	154 ab	1,053 c	1,207 b	1,073	627 b	2,907 b
高温水区	280 a	1,857 a	2,137 a	1,327	921 a	4,385 a
客土区	265 ab	1,723 ab	1,987 a	1,323	685 ab	3,995 ab
無処理区	135 b	1,217 bc	1,352 b	1,196	709 ab	3,256 b
分散分析 (p値)	0.0111	0.0006	0.0008	0.2652	0.0240	0.0064

注1) 定植1年目の1年生枝は2018年1月に基部1cmを残して切断した後に測定した。

2) 定植2年目の1年生枝, 主幹, 根は2019年2月に樹を抜根した後に各部に切断して分け, 測定した。

3) 異なる文字間には Tukey-Kramer 法により 5%水準で有意差があることを示す。

第4表 1年生枝, 主幹, 根の乾物重 (試験2)

処理区	1年生枝(g/樹)			主幹 (g/樹)	根 (g/樹)	2年間の乾物重 合計(g/樹)
	定植1年目	定植2年目	2年間合計			
常温水区	64 ab	437 c	501 c	526	292	1,319 b
高温水区	117 a	778 a	895 a	719	423	2,037 a
客土区	110 ab	717 ab	826 ab	656	326	1,809 ab
無処理区	57 b	509 bc	565 bc	582	331	1,478 b
分散分析 (p値)	0.0114	0.0010	0.0010	0.0832	0.0570	0.0057

注1) 乾物重は90℃で10日間乾燥後に測定した。

2) 異なる文字間には Tukey-Kramer 法により 5%水準で有意差があることを示す。

総新梢長の推移を第2表に示した。定植1年目の11月下旬では高温水区が351cmで最も長く、次いで客土区321cm, 常温水区217cm, 無処理区193cmの順であり、高温水区と無処理区との間に有意差が認められた。定植2年目の11月下旬では高温水区が1,598cmで最も長く、次いで客土区1,394cm, 無処理区1,113cm, 常温水区993cmの順であった。定植1年目と定植2年目の総新梢長の合計は高温水区が1,949cmで最も長く、次いで客土区1,715cm, 無処理区1,305cm, 常温水区1,210cmの順であり、高温水区と常温水区及び無処理区との間に有意差が認められた。

1年生枝の定植1年目, 2年目及び2年間合計の生体重及び定植2年目の主幹, 根の生体重を第3表に示した。1年生枝生体重は定植1年目は高温水区が280gで最も重く、次いで客土区265g, 常温水区154g, 無処理区135gの順であり、高温水区と無処理区との間に有意差が認められた。2年間の合計では高温水区が2,137gで最も重く、次いで客土区1,987g, 無処理区1,352g, 常温水区1,207gの順であり、高温水区及び客土区と常温水区及び無処理

区との間に有意差が認められた。主幹生体重は高温水区が1,327gで最も重かったが、各処理間に有意差は認められなかった。根生体重は高温水区が921gで最も重く、次いで無処理区709g, 客土区685g, 常温水区627gの順であり、高温水区と常温水区との間に有意差が認められた。2年間の生体重合計は高温水区が4,385gで最も重く、次いで客土区3,995g, 無処理区3,256g, 常温水区2,907gの順で、高温水区と常温水区及び無処理区との間に有意差が認められた。

1年生枝の定植1年目, 2年目及び2年間合計の生体重及び定植2年目の主幹, 根の乾物重を第4表に示した。1年生枝乾物重は定植1年目は高温水区が117gで最も重く、次いで客土区110g, 常温水区64g, 無処理区57gの順であり、高温水区と無処理区との間に有意差が認められた。2年間の合計では高温水区が895gで最も重く、次いで客土区826g, 無処理区565g, 常温水区501gの順であり、高温水区と常温水区及び無処理区との間に有意差が認められ、また客土区と常温水区との間に有意差が認められた。主幹乾物重は高温水区が719gで最も重く、次いで

第5表 常温水区、高温水区、客土区、無処理区の土壌中の無機態窒素量（試験2）

処理区	定植前			定植約3か月後		
	NO ₃ -N (mg/100g)	NH ₄ -N (mg/100g)	無機態窒素 (mg/100g)	NO ₃ -N (mg/100g)	NH ₄ -N (mg/100g)	無機態窒素 (mg/100g)
常温水区	3.55	0.29 b	3.84	6.96	0.15	7.10
高温水区	3.55	0.36 a	3.91	11.40	0.13	11.53
客土区	-	-	-	8.90	0.15	9.05
無処理区	3.81	0.28 b	4.09	10.48	0.15	10.63
分散分析 (p値)	0.9294	0.007	0.9488	0.3112	0.6923	0.3138

注1) 定植前土壌は高温水滴処理区、無処理区が2017年1月10日、常温水区が2月24日に地下10cm付近から採取した。

2) 定植約3か月後土壌は2017年5月20日に各試験区の処理範囲内で施肥を行っていない地点の地下10cm付近から採取した。

3) 異なる文字間にはTukey-Kramer法により5%水準で有意差があることを示す。

第6表 常温水区、高温水区、客土区、無処理区の土壌の根圏土壌アッセイ法による阻害率（試験2）

処理区	定植前 (%)	定植約3か月後 (%)
常温水区	52	51 b
高温水区	51	42 b
客土区	-	57 ab
無処理区	55	68 a
分散分析 (p値)	0.6120	0.0012

注1) 土壌の採取日、採取方法は第5表と同じ。

2) 阻害率は((対照の根長の平均値-供試土壌の根長の平均値)/対照の根長の平均値)×100で算出した。

3) 異なる文字間には角変換後に実施したTukey-Kramer法により5%水準で有意差があることを示す。

客土区 656g, 無処理区 582g, 常温水区 526g の順であり、各処理区間に有意差は認められなかった。根乾物重は高温水区が 423g で最も重く、次いで無処理区 331g, 客土区 326g, 常温水区 292g の順であり、各処理区間に有意差は認められなかった。2年間の乾物重合計は高温水区が 2,037g で最も重く、次いで客土区 1,809g, 無処理区 1,478g, 常温水区 1,319g の順であり、高温水区と常温水区及び無処理区との間に有意差が認められた。

試験2の各処理後の土壌中の無機態窒素量について、定植前及び定植約3か月後の測定値を第5表に示した。

定植前は硝酸態窒素量が高温水区、常温水区ともに 3.55mg/100g, 無処理区が 3.81 mg/100g で、各処理区間に有意差は認められなかった。アンモニア態窒素量は高温水区が 0.36 mg/100g で最も多く、常温水区が 0.29 mg/100g, 無処理区が 0.28 mg/100g で、高温水区と他2区との間に有意差が認められた。定植3か月後の硝酸態窒素量は高温水区が 11.40 mg/100g で最も多く、次いで無処理区 10.48 mg/100g, 客土区が 8.9 mg/100g, 常温水処理区が 6.96 mg/100g であり、各試験区間に有意差は認められなかった。アンモニア態窒素は各試験区とも 0.13 ~ 0.15 mg/100g で同程度であり、各試験区間に差は認められなかった。

試験2の土壌の根圏土壌アッセイ法による阻害率を第6表に示した。定植前の阻害率は高温水区が 51%, 常温水区が 52%, 無処理区が 55% で、各処理区間に有意差は認められなかった。定植約3か月後の阻害率は高温水区が 42% で最も低く、次いで常温水区 51%, 客土区 57%, 無処理区 68% の順で、高温水区及び常温水区と無処理区との間に有意差が認められた。

(2) 高温水処理、常温水処理を行った土壌を用いて栽培したホクシマメナシの生育（試験3）

高温水、常温水処理を行った土壌に植え付けたホクシ

第7表 常温水区、高温水区、処理前区に植え付けたホクシマメナシの生育（試験3）

試験区	主幹径 (mm)	総新梢長 (cm/樹)	乾物重(g/樹)			
			地上部	地下部	地上部+地下部	
常温水区	5.2	71 b	6.3 b	12.4	18.6 ab	
高温水区	8.2	85 a	11.0 a	19.9	30.8 a	
処理前区	5.1	72 b	6.0 b	11.0	17.0 b	
分散分析	試験区	0.0789	0.0157	0.0117	0.0607	0.0349
(p値)	ブロック	0.2153	0.0540	0.1566	0.8744	0.6873

注1) 2017年12月に成木4樹をバックホーで抜根後、土壌を混和して一部を採取（処理前区）した後埋め戻し、抜根跡地を中央で2等分し、西側を常温水、東側を高温水で処理した。

2) 2018年1月5日に両処理土壌を採取して容量12.2Lの不織布ポットに充填し、遮光シートで覆って雨除け施設にて保管した（無処理区も同様に保管）。

3) 2018年3月12日に各ポットにホクシマメナシ幼苗を4本植付け、ポットと周辺の土の高さが同じになるよう土中に埋め込み、管理した。かん水・除草は随時行い、施肥は行わなかった。

4) 生育調査及び掘り上げは2018年12月5日に行い、乾物重は90℃で5日間乾燥後に測定した。

5) 異なる文字間にはTukey-Kramer法により5%水準で有意差があることを示す。

第8表 常温水区, 高温水区, 処理前区の土壌の無機態窒素量 (試験3)

処理区	NO ₃ -N (mg/100g)	NH ₄ -N (mg/100g)	無機態窒素 (mg/100g)
常温水区	0.36 b	0.16 b	0.52 b
高温水区	0.15 b	2.38 a	2.53 a
処理前区	0.87 a	0.16 b	1.03 b
分散分析	処理区 0.0028	0.0037	0.0021
(p値)	ブロック 0.1333	0.4539	0.0790

注1) 土壌の採取日, 採取方法は第7表と同じ.

2) 異なる文字間には Tukey-Kramer 法により 5%水準で有意差があることを示す.

第9表 常温水区, 高温水区, 処理前区の土壌の根圏土壌アッセイ法による阻害率 (試験3)

処理区	阻害率(%)
常温水区	39 ab
高温水区	31 b
処理前区	44 a
分散分析	処理区 0.0169
(p値)	ブロック 0.9009

注1) 土壌の採取日は第7表と同じ.

2) 阻害率の算出方法は第6表と同じ.

3) 異なる文字間には角変換後に実施した Tukey-Kramer 法により 5%水準で有意差があることを示す.

マメナシの生育を第7表に示した. 主幹径は高温水区が 8.2mm で最も太かったが, 各試験区間に有意差は認められなかった. 総新梢長は高温水区が 85cm で最も長く, 他の2区との間に有意差が認められた. 乾物重は, 地上部は高温水区が 11.0g で最も重く, 他の2区との間に有意差が認められた. 地下部は高温水区が 19.9g で最も重く, 常温水区が 12.4g, 処理前区が 11.0g であり, 各処理区間に有意差は認められなかった. 地上部と地下部の合計は高温水区が 30.8g で最も重く, 次いで常温水区 18.6g, 処理前区 17.0g で, 高温水区と処理前区との間に有意差が認められた.

高温水区, 常温水区, 処理前区の土壌の無機態窒素量を第8表に示した. 硝酸態窒素は常温水区が 0.36mg/100g, 高温水区 0.15mg/100g で, ともに処理前区の 0.87mg/100g より有意に少なかった. アンモニア態窒素は常温水区及び無処理区が 0.16mg/100g であったのに対し, 高温水区は 2.38mg/100g で他の2区との間に有意差が認められた.

高温水区, 常温水区, 処理前区の土壌の根圏土壌アッセイ法による阻害率を第9表に示した. 阻害率は高温水区が 31%で最も低く, 次いで常温水区 39%, 処理前区 44%で, 高温水区と処理前区との間に有意差が認められた.

3. ナシ樹株元土壌を透過させる水の温度がいや地リスクに及ぼす影響 (試験4)

成木及び若木の株元から採取した土壌の透過させた水

第10表 異なる温度の水を透過させた土壌の根圏土壌アッセイ法及び透過水を与えたレタス根長の阻害率 (試験4)

調査樹 (樹齢)	土壌 採取日	処理区名	阻害率(%)	
			根圏土壌 アッセイ法	透過水
豊水 (37年生)	9月27日	10℃区	38	27
		25℃区	28	21
		50℃区	45	24
		70℃区	44	16
		無処理区	56	—
幸水 (32年生)	10月11日	10℃区	29	25
		25℃区	45	26
		50℃区	37	22
		70℃区	34	19
		無処理区	27	—
幸水 (12年生)	10月20日	10℃区	34	18
		25℃区	34	25
		50℃区	37	28
		70℃区	41	11
		無処理区	38	—

注1) 漏斗上の濾紙に土壌を置き, 各水温の水を 50mL 透過させ, 土壌と透過水を供試した.

2) 阻害率の算出方法は第6表と同じ.

温の影響について, 根圏土壌アッセイ法及び透過水を与えたレタス根長の阻害率を第10表に示した. 37年生「豊水」から採取した土壌は, 根圏土壌アッセイ法による阻害率は無処理区で 56%と比較的高かった. 10℃~70℃の水を透過させた土壌の阻害率は 28~45%で, 25℃区が最も低く, 50℃区及び 70℃区は比較的高かった. 32年生「幸水」から採取した土壌は, 根圏土壌アッセイ法による阻害率は無処理区で 27%と比較的低かった. 10℃~70℃の水を透過させた土壌の阻害率は 29~45%で, 10℃区が最も低かったが, 水温による一定の傾向は認められなかった. 12年生「幸水」から採取した土壌は, 根圏土壌アッセイ法による阻害率は無処理区で 38%と比較的低く, また 10℃~70℃の水を透過させた土壌の阻害率は 34~41%で, 無処理区とほぼ同程度であった. 透過水を与えたレタス根長の阻害率は 11~28%で, いずれの土壌においてもレタス根長はやや短くなり, また各土壌で 70℃が最も短くなったが, それ以外では水温による一定の傾向はみられなかった.

IV 考 察

1. 高温水処理後とフルアジナム SC 剤、微生物資材との併用後の白紋羽病抑止性（試験 1）

高温水処理は地温をある程度まで上昇させることができれば、土壌中の白紋羽病菌をほぼ確実に死滅させられると考えられる。しかし、平井ら（2017）が千葉市、八街市の白紋羽病多発圃場で高温水処理を行った後に苗木を定植したところ、定植 2 年目に 4 樹中 2 樹で白紋羽病の感染が確認された。高温水処理を行った土壌は無処理の土壌と比較し白紋羽病抑止性の低下が確認されたため、白紋羽病菌と同時に他の拮抗微生物も多く死滅させてしまい、防除効果を維持させるのは難しいと推察した。そこで、高温水処理後の土壌の白紋羽病発病抑止性向上が期待できる方法を検討し、トリコデルマ菌を含む土壌改良資材（以下、微生物資材）の施用と、フルアジナム SC の土壌かん注が期待できるとした。しかし、この 2 つは同じ試験で直接は効果を比較しておらず、また高温水処理と併用した場合と単独で使用した場合の効果の比較についても不十分もしくは未検討であった。

そのため、本試験ではこれらの処理を同一圃場で同年に行った。その結果、フルアジナム SC と微生物資材それぞれの単独使用及び高温水処理と微生物資材の併用処理では、いずれも土壌の持つ白紋羽病抑止力は 2016 年 10 月で無処理の約 1.5 倍と高くなった。これらに対し、高温水処理とフルアジナム SC 剤の併用処理では、無処理の約 3 倍とさらに高くなった。フルアジナム SC 剤は優れた予防効果と適度に長い残効性を有する保護殺菌剤であり、その主な作用は胞子発芽・付着器形成阻害、付着器の侵入阻害であると推察され（岡本, 2013）、白紋羽病対策として生産現場で最も普及している薬剤である。土壌の持つ白紋羽病抑止性は土壌中の拮抗微生物の働きによると考えられている（Takahashi and Nakamura, 2020）。これより、フルアジナム SC 剤を用いた場合は、拮抗作用を示す微生物が増加した可能性が考えられる。微生物資材は高温水処理と併用しても抑止力は単独で用いた場合と同程度であったが、フルアジナム SC 剤は高温水処理との併用で抑止力がさらに増加した。高温水処理により処理範囲内の微生物が減少し、そこにフルアジナム SC を加えることにより、白紋羽病菌に対して拮抗作用を示すフルアジナム SC に影響を受けない微生物が増加したことが推察された。しかし、フルアジナム SC 剤の使用により土壌微生物が増加したとする報告は過去にはないため、今後は実際に微生物数が増加したことの確認及びその種類の同定等を行う必要がある。

以上から、黒ボク土壌の改植時における白紋羽病抑止

性の向上方法として、高温水処理とフルアジナム SC 剤の併用処理が効果が高いと考えられた。

2. 高温水、常温水処理が土壌及び後作の樹の生育に及ぼす影響（試験 2~4）

試験 2 において、16 年生「幸水」抜根後に定植した「あきづき」は、定植後 2 年間の生育量は高温水区が最も多く、次いで客土区で、常温水区と無処理区は同程度で生育が劣る傾向がみられた。また、試験 3 では、20 年生以上の 4 樹を抜根し、掘り上げた土を混和して埋め戻した後に抜根跡地を半分に分けて常温水、高温水処理をそれぞれ行い、処理後の土壌を採取してポットでホクシマメナシ幼苗を植え付け約 9 か月生育させたところ、生育量は高温水区が最も多く、常温水区は無処理区（処理前土壌）とほぼ同程度であった。この 2 つの試験結果はほぼ同様の傾向であったと言える。このように高温水処理では生育が良好となり、常温水処理では改善がみられなかった原因について、いや地現象と無機態窒素の変化の 2 つの観点から考察する。なお、本研究以外にも高温水処理後の果樹の樹の生育が良好となった事例として、ニホンナシ（塩田ら, 2013 ; 加川ら, 2019）、モモ（和中ら, 2012）の報告がある。

いや地現象が生じる原因について、平野（1977）は土壌の養分欠乏、土壌 pH の変化、土壌の物理性の変化、病原菌や病害虫の影響、前作の根から分泌される毒物質やこれらの複数の原因が相互に関連しあう場合等をあげ、過去の文献を調査したが、いずれも生育不良を引き起こす主要因について断定はできていない。

養分欠乏について、一定期間ある作物を栽培すると土壌中の特定の養分を特に多く吸収することがある。その圃場に再びこれと同様の養分要求傾向の作物を栽培すると生育が劣ることが考えられ、連作障害の原因となる可能性がある。しかし、本試験では高温水処理により生育が良好となっていることから、毎年施用される三要素を除く特定の養分欠乏が主な原因ではないと推察される。

土壌 pH、土壌の物理性は常温水・高温水処理で同様の影響があると考えられるが、本試験では高温水では生育が良好となり、常温水では無処理と同程度で良好とは言えなかったことから、これについても主な原因ではないと考えられる。

土壌病害虫の影響について、戸谷ら（2012）は 43 年生「幸水」を抜根後、「幸水」及び「あきづき」1 年生苗木を前作樹主幹位置から等間隔に定植し、生育と土壌理化学性との関係を調査したところ、樹の地上部生体重量は両品種とも新土区に比べて生育が劣り、ダズメットによる土壌消毒を行っても生育の低下が認められた。このことから、土壌病害虫の関与は小さいと推察している。

前作の根から分泌される物質の影響について、平野・

森岡(1964)は数種類の果樹品目の1年生苗木をポットで砂耕し、培養液の流出液を別の苗木にかん注し栽培したところ、ニホンナシでは4か月後の生育がやや抑制されたとしている。

以上から、本研究では毒素説をニホンナシの連作土壌における生育不良の有力な原因と仮定し、考察することとする。

平野(1977)はカンキツやエンドウを用いた過去の文献から、毒物質(以下、本研究ではいや地物質と記す)は比較的水に溶解するものと推察している。ニホンナシの改植後の生育不良が前作樹の根から生じるいや地物質が主要因であれば、降雨によって少しずつ下方に降下し、樹の生育への影響は少なくなると考えられるが、ある程度の期間を要する。しかし、短時間に大量の水を流せば、直ちに土壌の生産力が改善できる可能性がある。本試験の高温水、常温水処理の点滴水量は500L/m²程度で、降水量にすると500mmとなる。千葉市の1991~2020年の平均年間降水量は1,454mmなので(気象庁, 2022)、点滴処理により年間降水量の3割以上の水量を短時間に集中的に流したことになる。いや地物質の蓄積量の多少を推定する方法として、根圏土壌アッセイ法があり、戸谷ら(2020)は、元木ら(2006)が開発したアスパラガス植付土壌のいや地検定に用いられる根圏土壌アッセイ法をニホンナシにも活用し、レタス根の伸長量からニホンナシのいや地リスクを検定できるとした。本研究における根圏土壌アッセイ法によるいや地リスク評価では、試験2では定植前は各処理区ともほぼ同程度であったが、定植3か月後は高温水区が最も低く、次いで常温水区で、両区とも無処理より有意に低かった。試験3では高温水区は無処理区より有意に阻害率が低く、常温水区は無処理区よりやや低かった。これらから、常温水処理、高温水処理ともにいや地物質を流出させる効果があり、有意差はみられなかったが高温水区ではより流出量が多かったことが示唆された。

そこで、点滴処理の水温がいや地物質の流出に及ぼす影響をみるため、試験4で成木3樹の株元から採取した土壌を濾紙上に置き、10℃、25℃、50℃、70℃の4種類の水の水温の水を透過させ、土壌と透過水を用いてレタス根長の阻害率を求めた。3樹のうち無処理区のいや地リスクが高かったのは37年生「豊水」で、いずれの温度の水でも透過させることにより土壌の阻害率は低下したが、最も阻害率が低かったのは25℃区であり、水温による一定の傾向は認められなかった。ただし、濾紙上の土壌に水を透過させると、その後乾燥中に固まってしまい、根圏土壌アッセイ法実施の際にはこれを細かく砕いて供試する必要が生じた。このため、土壌の物理性が採取時とはかなり異なってしまい、レタス根の伸長に影響を及ぼ

した可能性がある。

透過水を与えたレタスの根長について、水の透過によりいや地物質が流されるのであれば、根圏土壌アッセイ法による阻害率と透過水による阻害率は相反する結果になると想定されるが、両者の間に一定の傾向は認められなかった。また、透過水で阻害率が最も低いのは3樹の土壌とも70℃区であったが、水温がいや地物質の消長に及ぼす影響は不明である。そのため、この評価方法が適切であるかについては再検討が必要である。

以上より、根圏土壌アッセイ法による評価について、採取した土壌に水温を変えて水を透過させた試験では、水温といや地リスクの間に明確な関係はみられなかったが、圃場における高温水処理では阻害率が低くなる傾向が確認できた。また、常温水処理についても無処理区よりは低くなったため、いや地物質の影響による生育抑制はある程度は軽減されたと推察される。しかし、高温水処理では樹の生育が良好になったのに対し、常温水処理では無処理区と同程度であり、いや地現象の改善はみられなかった。この両処理の生育量の違いについては、いや地物質以外の要因が影響したと考えられる。

平野(1977)はいや地現象の原因と考えられる因子を取り除く処理を行っても、目的とする因子だけに作用し、他の要素にはまったく影響を及ぼさないという保障はなく、特に加熱やクロールピクリンなどの処理に至っては、病害虫、土壌微生物、土壌の養分や物理性などに変化を与えることが考えられるとしている。本研究の高温水処理では土壌を加熱しているため、土壌窒素の動態の変化についても考察に加える必要がある。

本研究の土壌の無機態窒素量は、試験2の定植前の硝酸態窒素量は常温水区、高温水区ともに無処理区よりやや少なく、アンモニア態窒素は高温水区がやや多かった。定植3か月後の硝酸態窒素量は、有意差はないものの高温水区が最も多く、常温水区では少なく、アンモニア態窒素はいずれの区も同程度であった。試験3では硝酸態窒素量は常温水区、高温水区ともに処理前区より少なく、アンモニア態窒素量は高温水区が最も多かった。これらから、高温水・常温水処理により土壌の無機態窒素量に変化が生じ、いや地物質の流亡とあわせて樹の生育に影響を及ぼした可能性がある。

高温水処理と同様な処理方法として、野菜の施設栽培等において開発された熱水土壌消毒がある。熱水土壌消毒は80~95℃の熱水を圃場に注入して地温を上げ、熱によって有害微生物の駆除を図るもので、1980年代に開発が進み、90年代にはほぼ確立されて土壌消毒器も市販されるようになった(西, 2005)。注入量は作物によって異なるが、150~300L/m²程度である。熱水土壌消毒後に栽培した作物は生育促進が観察されるものが多く、トマト、

ホウレンソウ、シュンギク、セルリ、ダイコン、チンゲンサイ、イチゴ、温室バラ、ダイズで報告がある(北, 2006)。これを土壌のリフレッシュ効果による増収としている。熱水処理による土壌の変化として、土壌の比較的浅い部分では pH が酸性から中性に近づき、EC が減少する。カリや苦土などの塩基類も表層部分の土壌で少なくなる。無機態窒素は EC と同様、表層部で減少し下層へと移行し、硝酸化成作用が低下するためアンモニア態窒素の存在比が大きくなる(岡本, 2002)。しかし、その後硝化細菌群が回復して増加するため、地力窒素の無機化は逆に促進される(橋本, 2002)。リフレッシュ効果による増収のメカニズムははっきりとはしていないが(北, 2006)、本研究における高温水処理後の樹の生育促進はほぼ同様の事例であると解釈される。

また、島本ら(1995)は窒素の安定同位体 (^{15}N) で標識した N を千葉県農業試験場内で採取した土壌に添加して 48 時間 25°C で培養し、乾熱処理及びくん蒸処理を行ったところ、無機態窒素として存在していた割合は 4.3%、微生物バイオマス N 量は 13.2%、死滅してまだ無機化していない微生物遺体 N が 80% であったと報告している。平井ら(2017)の報告では、八街市圃場で高温水処理実施後の土壌の有する白紋羽病抑止性の評価における白紋羽病死滅域長は、9 か月後で無処理の 49%、30 か月後で 61% であり、多くの拮抗微生物が死滅したと推察した。本試験では試験 1 の高温水区の白紋羽病死滅域長が、高温水処理 10 か月後で無処理区の 105% となり、拮抗微生物の回復は比較的早かったが、高温水処理後は多くの微生物遺体 N が土壌中に生じると推察される。

これらから、土壌に高温を加えると土壌中では複雑なメカニズムが働き、次第に地力窒素の無機化が進むと考えられる。高温水処理では試験 2、試験 3 でみられたように、処理直後は硝酸化成作用の停止と微生物遺体 N の増加によりアンモニア態窒素が増加し、その後硝化細菌群が回復するため試験 2 の定植約 3 か月後のように硝酸態窒素が増加すると推察される。地力窒素の無機化量は、山本・田村(2017)は高梁地域の褐色森林土ブドウ園における土壌窒素無機化量は年間 $14.4\sim 33.6\text{kg}/10\text{a}$ と推定しており、また内村・三浦(2005)は鹿児島県における黒ボク茶園の無機化する年間土壌窒素量は $20\sim 25\text{kg}/10\text{a}$ で、7~8 月が最大となり、年間の 4~5 割が夏季の 6 月から 8 月に無機化したとしている。千葉県の火山灰土圃場における施肥基準は「幸水」成木園で窒素 $23\text{kg}/10\text{a}$ であるため(千葉県, 2019)、土壌から由来する無機態窒素量は生産者が施用する量と同程度以上の場合もあり、生育に及ぼす影響は大きいと推測される。

ただし、高温水処理後の樹の生育が良好になったことについて、土壌中の窒素動態が主な原因かは本研究の結

果では断定できず、複数の要因によるリフレッシュ効果の可能性もある。今後、各処理後の土壌中の無機態窒素量を経時的に測定し、生育量との関係を詳細に調査する必要がある。

一方、常温水処理を行った地点の樹の生育はそれほど良好ではなかった。根圏土壌アッセイ法の結果からいや地物質はある程度流亡したと推察されたので、硝酸態窒素の流亡が原因となっていることが示唆された。そのため、施肥方法によっては生育が促進に転じる可能性はある。いや地物質が低コストな常温水処理によって除去できれば生産者の利点は大きいので、今後研究が進むことが期待される。

本研究では、ニホンナシの改植において問題となる白紋羽病といや地現象による生育不良について、高温水処理はフルアジナム SC の併用処理により土壌の持つ白紋羽病抑止性を高めることができた。また、抜根跡地の高温水処理後に定植した樹の生育は、ナシ栽培歴のない土壌を客土した場合と同程度に良好となった。これらから、抜根跡地の高温水処理は白紋羽病及びいや地現象による生育不良の両方の対策として有効であることが示唆された。

V 謝 辞

本研究の実施にあたり、果樹研究室の戸谷智明博士(現千葉農業事務所)には根圏土壌アッセイ法の実施方法の指導をいただき、また、いや地に関する試験の手法について全体的に助言をいただいた。土壌環境研究室の塚本崇志博士(現農林水産部担い手支援課)には無機態窒素の測定方法について御指導いただいた。ここに記して深く感謝の意を表す。

VI 摘 要

ニホンナシの改植において問題となる白紋羽病及びいや地現象による生育不良について、高温水処理による対策方法を千葉県のナシ産地の多くを占める黒ボク土壌において検討した。

1. 高温水処理後にフルアジナム SC、微生物資材をそれぞれ処理した土壌と、高温水処理、フルアジナム SC、微生物資材をそれぞれ単独で処理した土壌の白紋羽病抑止性を比較した。フルアジナム SC、微生物資材のそれぞれの単独使用及び高温水処理後の微生物資材かん注処理では、いずれも土壌の白紋羽病抑止性は高温水処理 10 か月後で無処理の約 1.5 倍と高くなった。高温水処理後のフルアジナム SC 剤かん注処理では無処理の約 3 倍となり、最も高くなった。

2. 16年生「幸水」21樹を抜根し、高温水処理、常温水処理、客土処理、無処理の試験区を無作為に配置し、「あきづき」1年生苗木を定植した。定植後2年間の生育量は高温水区が最も多く、次いで客土区で常温水区と無処理区は同程度で生育が劣る傾向が認められた。
3. 20年生以上の4樹を抜根し、掘り上げた土を混和して埋め戻した後に、抜根跡地を半分に分けて常温水、高温水処理をそれぞれ行った。処理後の土壌を採取してポットでホクシマメナシ幼苗を植え付け1年間生育させたところ、生育量は高温水区が最も多く、常温水区と無処理区（処理前土壌）はほぼ同程度であった。
4. 高温水区の土壌の無機態窒素量は処理直後または処理3か月後で無処理より多くなる傾向が、常温水区では少なくなる傾向がみられた。根圏土壌アッセイ法によるいや地リスク評価では、高温水区、常温水区ともに阻害率が無処理区より低くなる傾向がみられた。
5. 以上から、高温水処理はフルアジナムSC剤との併用で土壌の持つ白紋羽病抑制活性を高めることができた。また、高温水処理後に定植した樹の生育は良好になることが期待できた。常温水処理では生育の改善はみられなかった。いや地リスク評価では両処理とも阻害率に低下がみられたため、常温水処理により生育が改善されなかったのは、いや地物質の流亡の効果以上に土壌中の無機態窒素の動向が影響している可能性が示唆された。

Ⅶ 引用文献

千葉県 (2019) 主要農作物等施肥基準. 292pp.

千葉県・千葉県農林水産技術会議 (2018) 千葉県農耕地土壌の現状と変化 土壌実態調査8巡目 (2013～2016) の結果より. 44pp.

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 (2013) 白紋羽病温水治療マニュアル改訂版.

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 (2015) 白紋羽病温水治療マニュアル 2013年改訂版 追補.

江口直樹 (2005) 温水処理によるナシ白紋羽病罹病樹の治療. 日植病報 71: 281.

橋本知義 (2002) 熱水土壌消毒-その原理と実践の記録-. pp. 101-104. 日本施設園芸協会, 東京.

平井達也・塩田あづさ・高橋真秀・鈴木 健 (2017) ニホンナシの白紋羽病多発圃場における高温水点滴処理及び各種処理との併用が発病抑制効果に及ぼす影響. 千葉農林総研研報 9: 11-19.

平野 暁 (1977) .作物の連作障害. 78pp: 76pp: 115pp. 農山漁村文化協会, 東京.

平野 暁・森岡節夫 (1964) 果樹における根分泌物の生長抑制作用の種類間関係について. 園学雑 33: 13-22.

加川敬祐・郷内 武・市毛秀則・藤田 裕・清水 明・寺門 巖・飯村 強 (2019) ニホンナシ改植時における土壌への高温水処理・根底制限処理と1株3樹植えによる早期多収技術.園学研 18 (別 1): 55.

気象庁 (2022) 各種データ・資料・過去の気象データ検索 <https://www.jma.go.jp/jma/index.html> 最終アクセス 2022年6月16日.

北 宜裕 (2006) 物理的消毒法の効果と普及.野菜茶業研究集報 3: 7-15.

元木 悟・西原英治・平舘俊太郎・藤井義晴・篠原 温 (2006) 新規に開発した手法を利用したアスパラガス根圏土壌のアレロパシー活性測定法.園学研 4: 443-446.

西 和文 (2005) 環境に優しい熱水土壌消毒技術.野菜茶業研究集報 2: 9-17.

岡本昌弘 (2002) 熱水土壌消毒-その原理と実践の記録-. pp. 96-101. 日本施設園芸協会, 東京.

岡本茂樹 (2013) 総合殺菌剤フロンスайдSCの今後の展開について.農薬時代 195: 5-11.

島本光久・坂本一憲・吉田富男 (1995) 熱乾処理土壌における地力N発現に対する微生物バイオマスNの寄与.土肥誌 66: 27-31.

塩田あづさ・鈴木達哉・清水 明 (2013) 熱水の利用技術の開発 発病跡地消毒と生育促進効果. 植物防疫 67: 479-483.

Takahashi, M. and H. Nakamura (2020) Toothpick method to evaluate soil antagonism against the white root rot fungus, *Rosellinia necatrix*. J. Gen. Plant Pathol. 86: 55-59.

戸谷智明・藤井義晴・鈴木 健 (2020) 根圏土壌アッセイ法によるニホンナシのいや地リスクの評価.園学研 19: 21-27.

戸谷智明・川瀬信三・北口美代子 (2012) ニホンナシにおけるいや地現象の発生と原因について. 千葉県農林総研研報 4: 57-62.

内村浩二・三浦伸之 (2005) 反応速度論的解析法による黒ボク土茶園の土壌窒素無機化量の推定.茶研報 100: 1-10.

和中 学・中村 仁・杵淵慎也 (2012) モモ栽培土壌の高温処理及び改植時の土壌の熱水処理がモモ幼木の生育に及ぼす影響.園学研 11 (別 1): 73.

山本章吾・田村尚之 (2017) 高梁地域ブドウ園における土壌窒素無機化特性と‘ピオーネ’樹の生育との関係.岡山県農業研報 8: 1-12.

The Effect of Hot Water Treatment in Suppressing White Root Rot and on Growth of Replanted Japanese Pear

Tatsuya HIRAI* , Maho TAKAHASHI†¹

Key words: Japanese pear, white root rot in Japanese pear, Fluazinam SC
soil sickness syndrome in Japanese pear, hot water treatment

Summary

White root rot and soil sickness syndrome have become barriers to the replanting of Japanese pear trees. This prompted us to investigate hot water treatment as a countermeasure to these problems in an andosol field.

1. The suppression of white root rot in soils irrigated with Fluazinam SC after hot water treatment was about three times greater than that in untreated soil 10 months after hot water treatment. The suppression of white root rot in soils irrigated with microbial materials after hot water treatment, Fluazinam SC, and microbial materials alone were about 1.5 times higher than in untreated soil.
2. After removing 16-year-old "Kosui" trees, we applied hot water treatment, ambient-temperature water treatment, and soil dressing treatment. First-year "Akizuki" seedlings were then planted. The seedlings grown in soil that had undergone hot water treatment showed the highest growth rate during the first two years.
3. Four trees that were 20 years or older were rooted out, and the soil was backfilled. Half of the site was treated with ambient-temperature water and the other half with hot water. Young seedlings of *Pyrus betulifolia* Bunge were planted in the treated soils and allowed to grow for one year. The growth was most successful in the hot water-treated area.
4. The amount of inorganic nitrogen in the soil in the hot water-treated soil tended to be higher than that in the untreated soil, both immediately after treatment and three months post-treatment. Soil sickness syndrome testing for Japanese pear using the rhizosphere soil assay method showed that the inhibition rate tended to be lower after the hot-water and ambient-temperature water treatment than with non-treatment.

* Warm Region Horticulture Institute, Chiba Prefectural Agriculture and Forestry Research Center; 1762, Yamamoto, Tateyama, Chiba 294-0014, Japan.

†¹ Present address: Chiba Prefectural Agriculture, Forestry and Fisheries Department Agricultural Extension Division.