

令和 6 年 6 月 3 日現在

機関番号：82105

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21H02241

研究課題名(和文) 樹木の土壌病害の早期発見手法の開発

研究課題名(英文) Development of early diagnostic techniques of a soil-borne tree disease

研究代表者

矢崎 健一 (Yazaki, Kenichi)

国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等

研究者番号：30353890

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,200,000円

研究成果の概要(和文)：根感染性病害の早期発見手法の開発のため、南根腐病をモデルに、菌の定量方法の開発、接種試験によるストレス応答評価、菌の侵入の解剖学的観察、現地での本病判定方法の開発、被害地の樹木の特性評価などを行った。その結果、定量PCRによる菌定量法開発に成功、樹種により可視障害より早期に気孔やクロロフィル蛍光反応が菌増加に応答した。この応答は通水阻害より先立つことが生理・解剖実験から示された。迅速に病気を判定するLAMP法の本病への適用に成功した。野外の被害地の樹木はLMAが大きく気孔閉鎖気味であり、室内接種試験と同様の傾向が野外でも示された。以上より本病を葉の特性から早期に発見できる可能性が示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

土壌病害は葉や茎地際部の病変によって発見されるものの、樹木においては葉の萎凋・枯損は症状としては末期であり、被害拡大抑制のためにより早期の診断方法が求められる。本課題では、南根腐病に感染した苗木内の病原菌の総量と生理特性変化を比較することで、葉の萎凋や菌糸膜の発生などの病徴より早期の生理学的変化を確認することができた。この成果より、南根腐病を葉の特性から早期に発見することができる可能性が示唆された。

研究成果の概要(英文)：To develop an early detection method for root infectious diseases, we conducted studies on fungal quantification, stress response evaluation, anatomical observations, on-site disease diagnosis methods, and characterization of affected trees. We developed a fungal quantification method using quantitative PCR and discovered that stomatal and chlorophyll fluorescence responses to fungal increase occurred earlier than visible symptoms, varying by tree species. Physiological and anatomical experiments showed these responses precede water transport inhibition. We also applied the LAMP method for rapid disease diagnosis successfully. Trees in affected areas exhibited larger Leaf Mass per Area (LMA) and tended to have stomatal closure, similar to trends observed in indoor inoculation tests. These findings suggest the potential for early disease detection through leaf characteristics.

研究分野：樹木生理学・木材解剖学

キーワード：南根腐病 病徴診断 定量PCR 病理解剖 小笠原

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

樹木の根系に感染することで発症する多くの土壌性樹病は、土壌内が感染の場であることから、早期の発見が困難である。従来、主に葉のしおれや枯れから土壌病害は発見されているが、先行研究で示された通り、樹病による葉の萎凋症状は、病気が相当進行した末期的な状態に発生する場合が多い。したがって土壌性樹病を早期に発見し対策を施すためには、感染の疑いのある個体への病原菌の侵入量を把握することが第一である。また、葉の萎凋や枯損がおきるよりも早期の病徴を探索する必要がある。

土壌性病害の一つである南根腐病は、担子菌であるシマサルノコシカケ(*Phellinus noxius*)が樹木の根から侵入することで感染する。罹病木は、やがて葉の萎凋および地際部に褐色の菌糸膜の発生がみられ、やがて枯死に到る。本病は熱帯・亜熱帯地域で発生する多犯性の樹病で、森林やプランテーションに甚大な被害を及ぼしていることから、早期の感染への対策が求められている。

2. 研究の目的

本研究では、南根腐病を土壌病害のモデルとし、(1)病原菌の *P. noxius* の植物体内の DNA 量から、感染の進行度合いを判定する手法を開発する。(2)接種試験を行い、菌の量と樹木の葉や根の生理特性の変化との関連性を調べることで、萎凋より前の病徴を探索する。同時に感染進行に伴う生理・組織学的変化を調査することで、今まで未解明であった南根腐病の枯死メカニズムを生理学的に包括的に明らかにする。(3)さらに実際の野外で適用可能な本病感染の判定技術を分子マーカーから開発する。(4)本病の被害を追跡している野外調査地において、樹木の生理特性を比較し、接種試験でみられたような生理ストレスが発生しているか、調査する。以上から、土壌病害の病徴が顕在化するよりも早期に、罹病した樹木を発見する手法の開発を目指す。

3. 研究の方法

(1) 定量 PCR による罹病木内の南根腐病菌の定量方法の開発

南根腐病菌 (*Phellinus noxius* L.) その近縁種および樹木分離菌の各菌糸体を常法の DNA 抽出方法で抽出した。プライマーは既報より ITS 領域から設計された複数のもの(Wang et al. 2016)を候補とし、PCR の温度、時間などの条件を検討した。

定量性の確認のため、*P. noxius* とウスヒラタケを複数種の割合で混合した標準試料を作成、これらを対象樹木の木粉と混合し、*P. noxius* 量が既知のサンプルを作成した。定量 PCR によって検出可能濃度になるまでのサイクル数(ct 値)と、サンプルに含まれる *P. noxius* 量との関係から、定量性を評価した。

(2) 接種試験による苗木の樹病進行に伴う生理応答変化

Phellinus noxius の感染・増加に対し、可視障害より早期におこる樹木の生理特性変化を明らかにするため、複数樹種の苗木に *P. noxius* を接種し、一定期間ごとの各種生理特性変化を評価した。

供試木

本病被害が確認されている小笠原諸島に生育する樹種であるホルトノキ (*Elaeocarpus zollingeri*)、イジュ (*Schima wallichii*) およびシマイスノキの近縁種であるイスノキ (*Distylium racemosum*) の苗木 (樹高 30-50cm 程度) を用いた。5 リットル (14cm 径) のポリポットに赤玉土 (小粒) と緩行性肥料 (Osmocote Exact、HYPONeX 社、N:P:K = 16:9:10) 10g を与えて温室で 1-2 ヶ月程度養生後、温室度を制御した自然光利用型ファイトトロン (森林総合研究所、つくば市) に搬入した (day/night = 28/23 °C、50/60 %RH)。補光ランプを用い、日長を 13 時間に制御した。1 日に 2 回 (7:00 および 15:00) に、十分な灌水を行った。

接種

強病原性の *Phellinus noxius* (KPN92) をおが屑と米糠で十分に培養したものを接種源とした(Sahashi et al. 2010, Yazaki et al. 2023)。ポット苗の地際部を丁寧に掘り起こし、接種源を周囲に密着させた状態で埋め戻した。対象区として菌を培養していない培地のみを接種した。接種および対象区の個体数を表 1 に示す。

葉の生理特性

気孔コンダクタンスとクロロフィル蛍光反応をポロメーター・クロロフィル蛍光測定メーター (LI-600、Li-Cor 社) で、各個体につき 3-5 枚づつ、接種後から約二週間毎に全個体で測定した。気孔コンダクタンスについては各測定葉で期間中の最大の気孔コンダクタンスを求め、それに対する比 (g_{sw_ratio}) を求めた。また、一部個体 (各樹種 1-3 個体) を中間サンプリングし、気孔コンダクタンスを測定した葉の表 (向軸面) の反射分光特性を葉スペクトルメーター (CI-710、CID 社) で、SPAD 値を葉緑素計 (SPAD-502Plus、コニカミノルタ社) で測定した。取得した

	被害地 (小笠原) の生育状態	接種	対象区	実験期間 (DPI)
ホルトノキ	湿性高木林の構成樹種。	22	10	147
イジュ	(ヒメツバキ) 中～高木。林縁から林内まで。	15	6	127
イスノキ	(近縁種シマイスノキ) 低～中木。乾性低木林の構成樹種。	18	7	127

表 1 供試木の個体数

400-1000nm のスペクトルデータより NDVI、PRI、PSRI、ARI を算出した。採取した葉の面積を測定後に 70 度で二日間乾燥させ、乾重量を求め LMA を算出した。乾燥試料を粉碎し、フェノール硫酸法およびムタローターゼ・GOD 法でそれぞれ糖・デンプン量を測定した。

水分生理特性

中間サンプリング時に、夜明け前と日中の水ポテンシャル (ψ_{predawn} 、 ψ_{day}) を測定した。また、日中に葉を遮光したビニールで 30 分間覆うことで蒸散を抑制し、木部と水ポテンシャルを平衡させた状態の葉の水ポテンシャルより木部水ポテンシャル (ψ_{xylem}) を測定した。葉の測定において求めた最大の蒸散速度 (E_{max}) から苗木全体の通水コンダクタンス ($K_{\text{soil_to_leaves}} = E_{\text{max}} / (\psi_{\text{predawn}} - \psi_{\text{day}})$) および葉のコンダクタンス ($K_{\text{leaf}} = E_{\text{max}} / (\psi_{\text{xylem}} - \psi_{\text{day}})$) を求めた。

葉を採取後に地際部より地上部を切断し、ただちに水切りし、切断面を水中につけたまま全体を黒いビニール袋で 30 分以上覆って蒸散を抑制し、幹の通水系に働く負圧を緩和した。幹サンプルを採取後、重力法によって透水係数を求めた。ポットに残された根系より、high pressure flow meter 法によって根の透水コンダクタンスの最大値を求めた。根をポットより取り出して余剰な土壌を取り除いた後に、一次根と二次以降の根とを分割してから凍結乾燥し、乾重量を測定した。これらから、単位量あたりの根の透水コンダクタンスを求めた。

根系の *P. noxius* の定量

凍結乾燥させた根を粉碎し、定量 PCR によって *P. noxius* を定量した。菌糸膜を剥がすことは困難であったため、根および周辺に付着した菌を根圏の菌量とした。定量は一次根と二次以降の根とで行い、定量された *P. noxius* 濃度にそれぞれの根の部位の乾重量を掛け合わせて、ポット内の *P. noxius* 総量とした。

感染した根の解剖学的観察

先行研究で作成し冷凍保管していたシャリンバイおよびアカギ実生の感染根の F-WGA 染色切片 (Yazaki et al. 2023) を、共焦点走査型レーザー顕微鏡 (Nikon AX、NIKON 社) の 405nm、488nm、および 561nm の励起波長を用いて観察した。

データ解析

各測定値を応答変数、ポット内の *P. noxius* 量 (対数値) を説明変数として線形回帰を行なった。また、接種直前と *P. noxius* 量が最大値に達する DPI (=100 程度) とにおいて、気孔コンダクタンスと VPD との関係から気孔の感受性を評価した。

(3) LAMP 法による *P. noxius* 感染の診断方法の開発

Phellinus noxius の KPN91 株の DNA 配列を元に、プライマー設計ソフトウェア (PrimerExplorer、富士通 Japan) を用いてプライマー候補を複数あげ、*P. noxius* と枯死木から分離された複数の腐朽菌を用いて、*P. noxius* 特異的に反応するものを探索した。また、異なる濃度の *P. noxius* の DNA 抽出液で検出限界を確認した。

(4) 野外の被害地樹木の特異性

本病の被害が確認されている東京都小笠原村父島・母島内で継続的に調査を行っている 44 箇所のプロットから、プロットを代表する樹種個体の樹冠の葉を採取した。リーフパンチでくりぬいたのちに 70°C で二日間乾燥させたのち、重量を測定し比葉重量 (LMA) を求めた。その後サンプルを粉碎し、NC コーダ (Sumigraph NC-22、住化分析センター) で窒素含量を、質量分析計 (MAT252 + NC2500、Thermo Finnigan 社および CE Instruments 社) で炭素同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$) をそれぞれ測定した。これらを本課題の調査期間中に新規の感染木が発見されたプロット (被害拡大地) と、新規の感染木が発見されないプロット (非拡大地) とで比較した。

4. 研究成果

(1) 定量 PCR 法による菌量測定

使用プライマーとして PN-1F と PN-2R のセットを用い、複数の PCR 条件のなかから、乖離温度 95°C で 10 秒、アニーリング温度 69°C で 20 秒、伸長温度 72°C で 8 秒を 50 サイクル実行したことで、*P. noxius* の DNA のみ増幅した。近縁種、他の菌、微生物および樹木由来の DNA は増幅しなかった。またこの条件で標準サンプルおよび *P. noxius* 一木粉混合サンプルの菌量と Ct 値とに高い正の相関が認められた (図 1)。この関係性は種によって異なったが、種特性を事前に検証しておくことで、定量

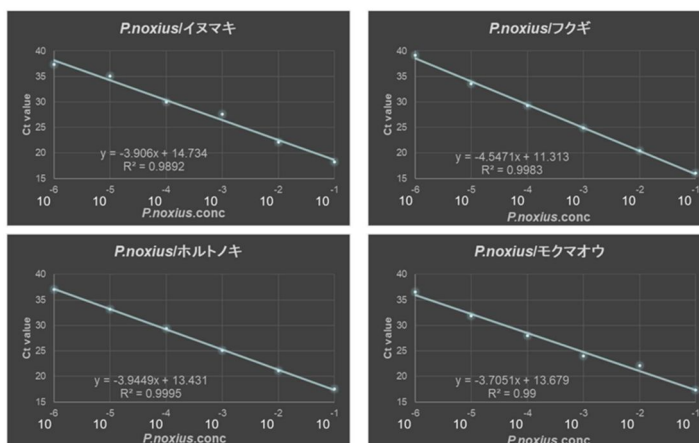


図 1 定量 PCR による定量性の確認

PCR 法によって樹体内の *P. noxius* 量を高感度で測定することが可能となった。

(2) 接種試験による苗木の樹病進行に伴う生理応答変化

接種処理で、接種後3-4ヶ月(接種後日数(DPI)=127-147)の間に、枯死した個体はほとんどなかったが、ホルトノキは比較的先端の葉で萎凋や故損が確認され、また全ての樹種で接種個体の根の表面に菌糸膜が発生していた。ポット内の *P. noxius* 量(以下、菌量)は、DPIが50-100の間で最大となり、その後は同程度の値で推移した(図2)。菌量増加の程度には種間で違いがあり、イスノキで増加が顕著であった。この種間による違いの原因は特定できなかったが、イジユの細根は他樹種より切れやすく、菌の侵入に伴い、根を切り離すことで、菌の樹体内への侵入や増殖を抑制できたのかもしれない。

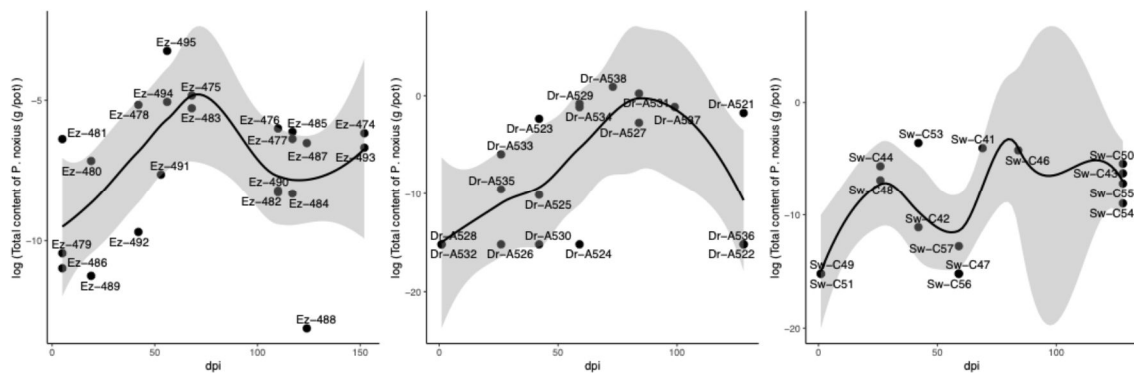


図2 ポット内の *P. noxius* 量の日(DPI)推移

菌量の増加に対し、水分生理への影響はいずれの樹種もほとんどなかった(表2)。その一方、菌量増加に伴い蒸散速度や気孔コンダクタンスが、特にイスノキで低下した(表3)。イスノキはETRやFv:Fmといったクロロフィル蛍光特性も同様に低下し、さらに反射分光特性のARIとPSRIの増加が認められた。ARIやPSRIの増加より、感染によって葉の老化に類似した反応が進んだ可能性があるといえる。以上より、萎凋症状が顕著でないイスノキでも、気孔や反射分光特性から病徴の進行を評価できる可能性が示された。

Parameter	Species	estimate	std.error	T-value	p.value
Leaf mass per area (g m ⁻²)	<i>E. zollingeri</i>	-1.3579	0.8640	-1.5716	0.1265 ns
	<i>S. wallichii</i>	-0.5432	0.3605	-1.5068	0.1483 ns
	<i>D. racemosum</i>	0.6223	0.4928	1.2627	0.2193 ns
Total non structural carbohydrate (g g ⁻¹)	<i>E. zollingeri</i>	-0.0028	0.0031	-0.8937	0.3786 ns
	<i>S. wallichii</i>	-0.0004	0.0021	-0.1956	0.8470 ns
	<i>D. racemosum</i>	0.0022	0.0015	1.4202	0.1690 ns
Sugar (g g ⁻¹)	<i>E. zollingeri</i>	0.0019	0.0010	1.9254	0.0637
	<i>S. wallichii</i>	-0.0007	0.0009	-0.8269	0.4186 ns
	<i>D. racemosum</i>	0.0019	0.0007	2.5579	0.0176 *
Starch (g g ⁻¹)	<i>E. zollingeri</i>	-0.0047	0.0036	-1.3048	0.2019 ns
	<i>S. wallichii</i>	0.0003	0.0021	0.1424	0.8883 ns
	<i>D. racemosum</i>	0.0003	0.0019	0.1555	0.8778 ns
Water potential at predawn (MPa)	<i>E. zollingeri</i>	-0.1430	0.0659	-2.1716	0.0421 *
	<i>S. wallichii</i>	-0.0052	0.0085	-0.6072	0.5542 ns
	<i>D. racemosum</i>	-0.0429	0.0336	-1.2757	0.2203 ns
Water potential at daytime (MPa)	<i>E. zollingeri</i>	-0.0589	0.0644	-0.9153	0.3709 ns
	<i>S. wallichii</i>	-0.0132	0.0228	-0.5794	0.5722 ns
	<i>D. racemosum</i>	-0.0252	0.0300	-0.8400	0.4133 ns
Xylem water potential at daytime (MPa)	<i>E. zollingeri</i>	-0.1021	0.0649	-1.5743	0.1311 ns
	<i>S. wallichii</i>	-0.0096	0.0234	-0.4082	0.6898 ns
	<i>D. racemosum</i>	-0.0382	0.0300	-1.2759	0.2202 ns
Soil-to-leaf hydraulic conductance (mmol m ⁻² s ⁻¹ MPa ⁻¹)	<i>E. zollingeri</i>	0.2761	0.4266	0.6473	0.5256 ns
	<i>S. wallichii</i>	0.0339	0.0855	0.3972	0.6977 ns
	<i>D. racemosum</i>	0.0883	0.1908	0.4628	0.6498 ns
Leaf hydraulic conductance (mmol m ⁻² s ⁻¹ MPa ⁻¹)	<i>E. zollingeri</i>	0.8345	2.3613	0.3534	0.7279 ns
	<i>S. wallichii</i>	0.5984	0.5855	1.0221	0.3254 ns
	<i>D. racemosum</i>	-0.5421	0.4022	-1.3479	0.1965 ns
Mass-specific root hydraulic conductance (kg s ⁻¹ MPa ⁻¹ kg ⁻¹)	<i>E. zollingeri</i>	-0.0009	0.0012	-0.7461	0.4643 ns
	<i>S. wallichii</i>	-0.0001	0.0001	-1.3107	0.2126 ns
	<i>D. racemosum</i>	0.0000	0.0000	-0.7673	0.4541 ns
Stem-specific hydraulic conductance (kg s ⁻¹ m ⁻¹ MPa ⁻¹)	<i>E. zollingeri</i>	-0.0282	0.0289	-0.9759	0.3408 ns
	<i>S. wallichii</i>	0.0081	0.0243	0.3341	0.7436 ns
	<i>D. racemosum</i>	0.0036	0.0087	0.4212	0.6792 ns

表2 菌量を説明変数とした線形モデル(葉の特性・水分生理)

感染が進行した苗の根には、表皮から木部までの細胞内に *P. noxius* の菌糸が存在した(図3)。侵入された柔細胞の生死は不明であるが、道管、木繊維などの形態は保たれていた。このことから、病気進行による通水機能への影響が早期に出なかったと考えられる。

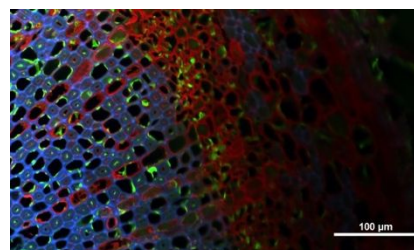


図3 菌(写真緑色)の侵入状態

Parameter	Species	estimate	std.error	T-value	p.value
Maximum transpiration rate during daytime (mmol m ⁻² s ⁻¹)	<i>E. zollingeri</i>	-0.1868	0.0946	-1.9750	0.0638 .
	<i>S. wallichii</i>	0.0291	0.0491	0.5920	0.5640 ns
	<i>D. racemosum</i>	-0.0637	0.0463	-1.3759	0.1878 ns
Stomatal conductance (mol m ⁻² s ⁻¹)	<i>E. zollingeri</i>	-0.0043	0.0040	-1.0894	0.2903 ns
	<i>S. wallichii</i>	0.0025	0.0013	1.9405	0.0659 .
	<i>D. racemosum</i>	-0.0017	0.0006	-2.9890	0.0058 **
Ratio of stomatal conductance	<i>E. zollingeri</i>	-0.0555	0.0203	-2.7386	0.0135 *
	<i>S. wallichii</i>	0.0082	0.0119	0.6921	0.4964 ns
	<i>D. racemosum</i>	-0.0087	0.0080	-1.0833	0.2879 ns
Stomatal opening index (F _v :F _m)	<i>E. zollingeri</i>	-0.0313	0.0365	-0.8585	0.4019 ns
	<i>S. wallichii</i>	0.0177	0.0125	1.4180	0.1709 ns
	<i>D. racemosum</i>	-0.0198	0.0083	-2.3773	0.0245 *
Mean leaf temperature at daytime (°C)	<i>E. zollingeri</i>	-0.1106	0.1762	-0.6273	0.5383 ns
	<i>S. wallichii</i>	-0.2832	0.1047	-2.7041	0.0133 *
	<i>D. racemosum</i>	-0.1206	0.0755	-1.5973	0.1214 ns
Maximum quantum yield of photosystem II photochemistry (F _v :F _m)	<i>E. zollingeri</i>	-0.0118	0.0081	-1.4500	0.1643 ns
	<i>S. wallichii</i>	-0.0019	0.0028	-0.7055	0.4882 ns
	<i>D. racemosum</i>	-0.0067	0.0028	-2.3823	0.0242 *
Quantum yield of electron transport (ΦII)	<i>E. zollingeri</i>	-0.0051	0.0199	-0.2553	0.8014 ns
	<i>S. wallichii</i>	0.0099	0.0058	1.6938	0.1051 ns
	<i>D. racemosum</i>	-0.0076	0.0045	-1.7010	0.1000 ns
Electron transport rate (ETR, mol e ⁻ m ⁻² s ⁻¹)	<i>E. zollingeri</i>	-5.3238	4.1366	-1.2870	0.2144 ns
	<i>S. wallichii</i>	-0.5137	1.2250	-0.4193	0.6792 ns
	<i>D. racemosum</i>	-3.5424	1.0548	-3.3584	0.0023 **
Photochemical quenching (qP)	<i>E. zollingeri</i>	-0.0016	0.0214	-0.0746	0.9413 ns
	<i>S. wallichii</i>	0.0064	0.0050	1.2873	0.2120 ns
	<i>D. racemosum</i>	-0.0050	0.0055	-0.8965	0.3776 ns
Non-photochemical quenching (NPQ)	<i>E. zollingeri</i>	0.0019	0.0918	0.0207	0.9837 ns
	<i>S. wallichii</i>	-0.0955	0.0368	-2.5940	0.0169 *
	<i>D. racemosum</i>	0.0175	0.0293	0.5968	0.5554 ns
Normalized difference vegetation index (NDVI)	<i>E. zollingeri</i>	-0.0014	0.0045	-0.3069	0.7629 ns
	<i>S. wallichii</i>	0.0014	0.0011	1.2043	0.2419 ns
	<i>D. racemosum</i>	-0.0018	0.0011	-1.7306	0.0945 .
Photochemical reflectance index (PRI)	<i>E. zollingeri</i>	-0.0021	0.0032	-0.6624	0.5171 ns
	<i>S. wallichii</i>	0.0009	0.0011	0.8079	0.4282 ns
	<i>D. racemosum</i>	-0.0010	0.0005	-2.2022	0.0361 *
Plant senescence reflectance index (PSRI)	<i>E. zollingeri</i>	0.0010	0.0012	0.8581	0.4035 ns
	<i>S. wallichii</i>	-0.0003	0.0003	-1.0057	0.3260 ns
	<i>D. racemosum</i>	0.0005	0.0002	2.3064	0.0287 *
Anthocyanin reflectance index (ARI)	<i>E. zollingeri</i>	0.0000	0.0000	-1.4398	0.1692 ns
	<i>S. wallichii</i>	0.0000	0.0000	2.7940	0.0109 *
	<i>D. racemosum</i>	0.0000	0.0000	5.0408	0.0000 ***
SPAD value	<i>E. zollingeri</i>	0.1100	0.4953	0.2221	0.8257 ns
	<i>S. wallichii</i>	-0.0609	0.4490	-0.1356	0.8936 ns
	<i>D. racemosum</i>	0.2230	0.2241	0.9952	0.3300 ns

表 3 菌量による線形モデル (葉の生理特性)

(3) LAMP 法による *P. noxius* 感染の診断方法の開発

プライマー候補を複数種類の腐朽菌で検証した結果、*P. noxius* にのみ陽性反応を示すものを特定した。標準試料を LAMP 法で反応させたところ検出限界は 1pg であった (図 4)。これらより本法によって対象物内の *P. noxius* の存在を迅速に判定できるようになった。

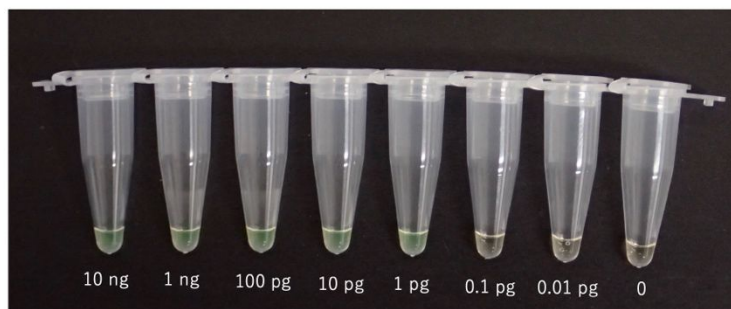


図 4 蛍光試薬による LAMP 法の検出感度の確認

(4) 野外の被害地樹木の特性

樹種をプールして全体で解析した結果、非拡大地よりも被害拡大地で LMA や δ13C が大きかった。このことは、被害拡大地において恒常的に気孔が閉じ気味であったことを示している。一方で窒素含量に違いはなかったことから、立地の窒素含量に違いがなかったことが示唆された。感染したことで水供給不足になった可能性もあるものの、本課題の接種試験で LMA の大きい樹種 (イスノキ) で *P. noxius* が増加しやすい・通水障害は起こしていない、などを考慮すると、野外において大きい LMA の樹種の生育環境特性や根の樹種特性が、菌が増加しやすい環境であることが考えられた。

引用文献

- Sahashi et al. (2010) Plant Dis 94:358-360.
Wang Y-F et al. (2016) Applied Environmental Biotechnology 1:81-91.
Yazaki et al (2024) Eur J Plant Pathol. 168:147-166

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Yazaki Kenichi, Kimura Fuku S., Zhang Chunhua, Levia Delphis F., Akiba Mitsuteru, Saiki Shin-Taro, Ishida Atsushi, Kojima Mikiko, Takebayashi Yumiko, Sakakibara Hitoshi, Maruyama Yutaka, Ota Yuko, Sahashi Norio	4. 巻 168
2. 論文標題 Physiological responses of seedlings to the invasion of brown root rot hyphae differ between semi-deciduous <i>Bischofia javanica</i> Blume and evergreen <i>Rhaphiolepis umbellata</i> (Thunb.) Makino	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 European Journal of Plant Pathology	6. 最初と最後の頁 147-166
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10658-023-02740-w	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 山口宗義、秋庭満輝、佐橋憲生、矢崎健一	4. 巻 73
2. 論文標題 南根腐病菌をモデルとする樹病罹病木を想定した病原菌特異的定量方法の確立	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 関東森林研究	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Tsujiimoto Satoshi, Akiba Mitsuteru, Kameyama Norikazu, Sahashi Norio	4. 巻 53
2. 論文標題 Occurrence of brown root rot in Ocean Expo Park, Okinawa, Japan: Infection route and preventive control measures	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Forest Pathology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1111/efp.12809	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 矢崎健一、佐橋憲生、山口宗義、張春花、鳥居正人、宮下俊一郎、飛田博順、才木真太郎、秋庭満輝、太田祐子
2. 発表標題 南根腐病に罹病した苗木の通水機能および気孔反応特性
3. 学会等名 第134回日本森林学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山口宗義、秋庭満輝、佐橋憲生、矢崎健一
2. 発表標題 南根腐病菌をモデルとした樹病罹病木内の病害菌特異的定量方法の確立
3. 学会等名 関東森林学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山口宗義、秋庭満輝、佐橋憲生、矢崎健一
2. 発表標題 樹病罹病木内の病害菌特異的定量における樹種による定量阻害
3. 学会等名 関東森林学会大会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	佐橋 憲生 (Sahashi Norio) (10202102)	国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・研究専門員 (82105)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	山口 宗義 (Yamaguchi Muneyoshi) (20353899)	国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等 (82105)	
研究分担者	才木 真太郎 (Saiki Shin-Taro) (30824114)	国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・研究員 (82105)	
研究分担者	半 智史 (Nakaba Satoshi) (40627709)	東京農工大学・(連合)農学研究科(研究院)・准教授 (12605)	
研究分担者	秋庭 満輝 (Akiba Mitsuteru) (50353553)	国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等 (82105)	
研究分担者	太田 祐子 (Ota Yuko) (60343802)	日本大学・生物資源科学部・教授 (32665)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関