

令和6年度 ジャパンフラワー強化プロジェクト推進事業 「イヌマキの根洗い活着促進技術の現地実証」

1 実施主体

千葉県花き振興地域協議会（事務局：千葉県、（公社）千葉県園芸協会）

2 目的

日本の造形樹は国外の需要が大きく、千葉県ではイヌマキを始めとした多くの植木類を輸出している。植木を海外へ輸出する際、輸出先の国で植物検疫を受ける必要がある。多くの国は土壌中にいるセンチュウを除去するため、根鉢土壌の除去（根洗い）を求めている。この作業は植木に多大なストレスをかけるため、葉の枯死などの品質低下を引き起こしている。

植木輸出における諸外国の検疫条件に適合させるため、主力品目であるイヌマキについて、品質を保持したまま土壌を除去する根洗い技術の確立が急務となっている。

これまでの結果で、葉の含水率が植木の枯死と密接に関係していることが明らかになっている。植木の乾燥は葉の蒸散や樹体表面からの水の揮発により進行する。そのため、根洗い後の輸出期間が長いほど、輸送環境中の湿度が低いと、植木は乾燥しやすくなると考えられる。そこで、根洗い後の植木の含水率と輸送環境の温度湿度の推移の関係を調査し、植木の品質を維持したまま輸送できる温湿度環境を明らかにする。これにより、根洗い後樹勢を維持したまま輸送できる国や地域を推定し、輸出の促進を図る。

また、これまで主要な輸出品目であるイヌマキについて、蒸散抑制による樹勢維持効果を確認し、品質維持技術を開発してきた。この技術が他の輸出対象樹種に対しても利用可能か検証し、根洗いにより輸出できる樹種の拡大を図る。

3 令和6年度の実施内容

（1）イヌマキの輸送期間中の乾燥状態の推移

1）供試樹種：イヌマキ（樹高 300cm、根鉢直径 70cm）

2）試験区：

- ・乾燥区（ビニールハウスの側窓を閉め、外気より高温乾燥条件にした）
- ・中間区（ビニールハウスの側窓を開け、外気条件に近づけた）
- ・湿潤区（ビニールハウスの側窓を開け、外部遮光と加湿装置により高遮光多湿条件にした）

各 1 棟

3）試験規模：1 区 1 株 4 反復

4）耕種概要：匝瑳市内で栽培されていたイヌマキの造形樹を掘り上げ、根鉢を水に浸漬した後に、2024 年 7 月 10 日に根洗い・殺線虫剤（ベノミル水和剤 500 倍希釈）根部浸漬を行なった。浸漬後、根部保湿資材としてピートモス（苦土石灰 2g/L で pH 調整済み）を、根部被覆資材としてストレッチフィルム（直鎖状低密度ポリエチレン、厚さ 15 μ m、以下ポリフィルムと表記）を供試した。その後、ビニールハウスに搬入した。ビニールハウス内に遮光率 90%の黒の遮光シートを展張し、そ

の中に根洗いした植木を静置した。植木は直置きせず、パレットの上に置いた。なお、根洗後は灌水を行わなかった。

5) 調 査：

調査は根洗直後と搬入後に適宜行った。搬入後は基本的に週に1回程度で調査を行った。供試樹内の葉が全て褐変し、測定ができなくなった時点で、その個体の調査を終了した。

ア 気温と湿度

地上1mほどの位置に設置した強制通風筒内におんどりのセンサーを入れて、植木周囲の気温と湿度を測定した

イ 水ポテンシャル (Ψ_w)

葉を1枚採取し、プレッシャーチャンバーを使用し測定

ウ 相対含水率

葉を3枚採取し、生重量を測定した後に、水に24時間浸漬して飽和重量を測定し、さらに70℃の乾燥機で72時間以上乾燥させ乾燥重量を測定した。

※相対含水率 = (生重量 - 乾燥重量) / (飽和重量 - 乾燥重量)

エ 葉の電解質漏出率

葉を3枚採取し、カミソリで各5片に切り分け、35mlの蒸留水に24時間浸漬後のEC (ECint) を測定し、その後121℃15分のオートクレーブにかけてEC (ECmax) を再度測定した。

※電解質漏出率 = ECint/ECmax

オ 枯死側枝率

高さ1m程度にある供試樹の側枝5本に印をつけて、側枝内の葉に褐変が生じている側枝の数を数えた。

6) 実証の結果

試験期間中の平均気温は、乾燥区で28.7℃、中間区で28.0℃、湿潤区で27.4℃であった。気温の推移を見ても、乾燥区が最も高く、中間区、湿潤区の順に低くなった(図1-1)。また、試験期間中の平均相対湿度は、乾燥区で77.8%、中間区で79.5%、湿潤区で83.6%であり、湿度は湿潤区が最も高く、中間区、乾燥区の順に低下していた(図1-2)。飽差(空気中に蒸発可能な水蒸気量)も同様の傾向を示し、乾燥区では気温が高いため、処理区ごとの差がより明確になり、試験期間中の平均飽差は、乾燥区で0.78g/m³、中間区で0.67g/m³、湿潤区で0.52g/m³であった(図1-3)。これにより、意図した通りに各処理区の温湿度環境に違いを設定できたことが確認された。

水ポテンシャル(植物の水分状態を示す指標、低いほど乾燥している)は、どの処理区でも日を追うごとに低下していった(図1-4)。分散分析の結果、根洗後の経過日数、処理区、交互作用はいずれも有意な差があり、乾燥区が最も速く乾燥し、中間区、湿潤区の順であった。ただし、乾燥区と中間区の差は、湿潤区との差ほど大きなかった。

相対含水率も同様の傾向を示し、乾燥区と中間区では速く低下し、湿潤区では緩やかに低下していた(図1-5)。したがって、湿潤区では水分の喪失が他の2区よりも抑えられていると考えられた。

蒸散速度はどの処理区でも根洗後すぐに急激に低下し、その後は低い水準で推移した(図1-6)。これは、根鉢の土壌が乾燥することで、植物が気孔を閉じ、蒸散を抑えたためと考えられた。植物による能動的な蒸散抑制は全ての処理区で同程度であった。

電解質漏出率(細胞膜の機能を示す指標)は、乾燥や凍結によるダメージを測る指標として知られている。乾燥区と中間区では比較的速く上昇し、湿潤区ではゆっくりと上昇した(図1-7)。乾燥区と中間区では20日後あたりから増加し、速いペースで致死レベルに近づいた。一方、湿潤区では50日後あたりから増加し始め、乾燥による細胞の損傷は比較的軽微であった。

この違いは見た目にも表れており、枯死した個体の割合は乾燥区・中間区では根洗後すぐに増加したが、湿潤区では50日後あたりから増え始めた(図1-8)。このことから、根洗後の日数が進むほど枯死する個体が増え、その傾向は処理区ごとに異なることが示唆された。実際に、根洗69日の時点では、乾燥区・中間区ではほぼすべての個体の葉が褐変していたが、湿潤区では一部の個体が葉の褐変なく生存していた(写真1-1)。

以上の結果から、湿潤区では乾燥区・中間区に比べ、気温が低く湿度が高いため、イヌマキ植木の品質が維持されやすいことが明らかになった。したがって、輸送環境中の気温の上昇・湿度の低下を抑制することで、イヌマキ植木はより長期間の輸送に耐えうると考えられ、今回の湿潤区の環境を実際の輸送現場に再現できれば、50日間程度は商品性を保てる可能性がある。

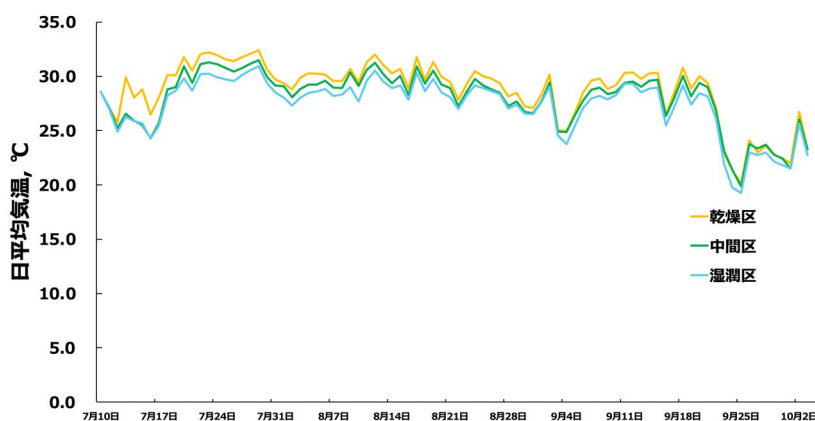


図1-1 処理区別の日平均気温

注) 温湿度計を強制通風筒に入れ、地上1mの位置に設置

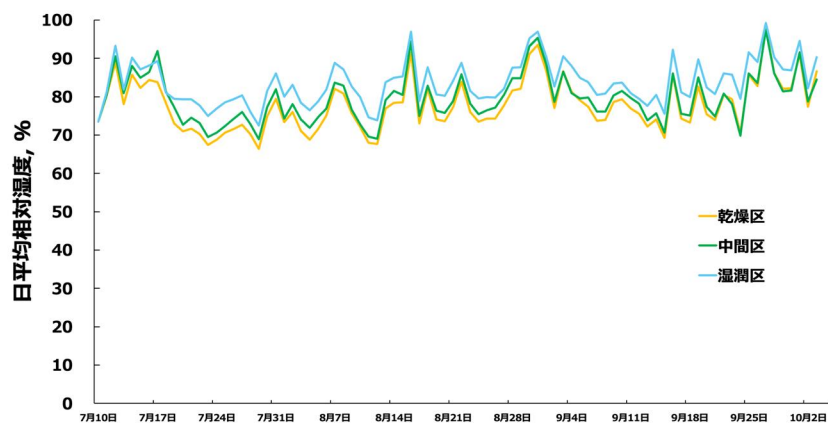


図 1-2 処理区別の日平均相対湿度

注) 温湿度計を強制通風筒に入れ、地上 1 m の位置に設置

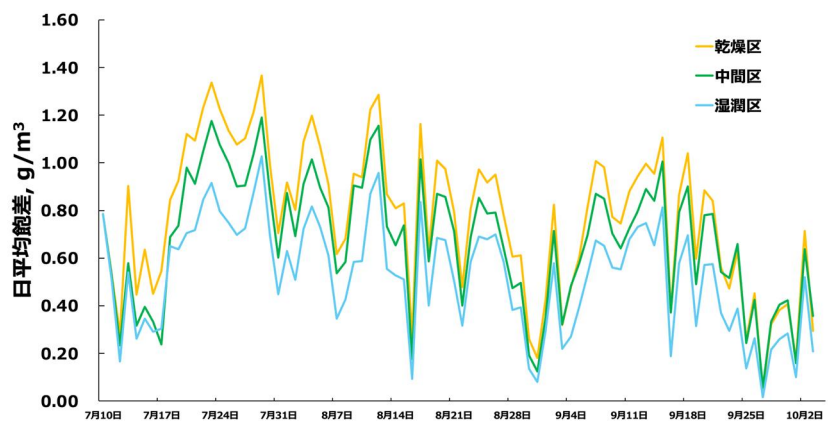


図 1-3 処理区別の日平均飽差

注 1) 温湿度計を強制通風筒に入れ、地上 1 m の位置に設置

2) 相対湿度と気温より飽差を算出

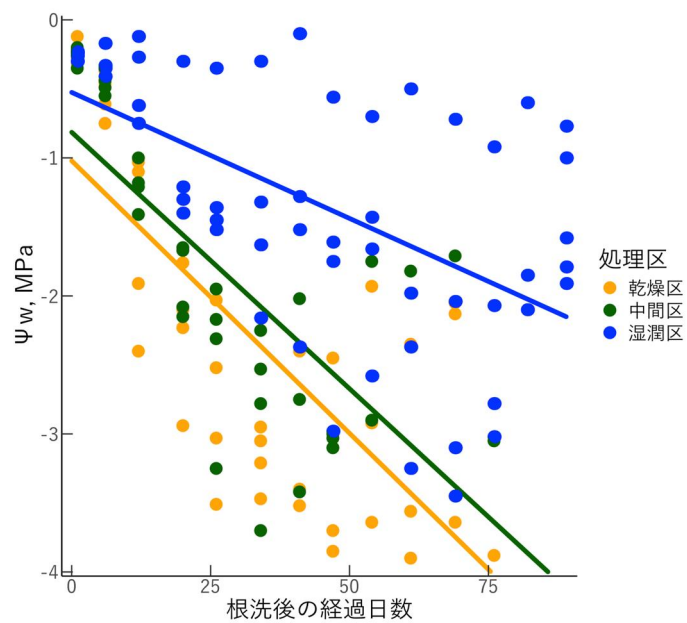


図 1-4 処理区別の水ポテンシャル (Ψ_w) の経時変化

注 1) 直線は一般的分析による推定直線

2) 分散分析の結果：根洗後の経過日数, $P < 0.001$; 処理区, $P < 0.001$; 交互作用, $P < 0.01$

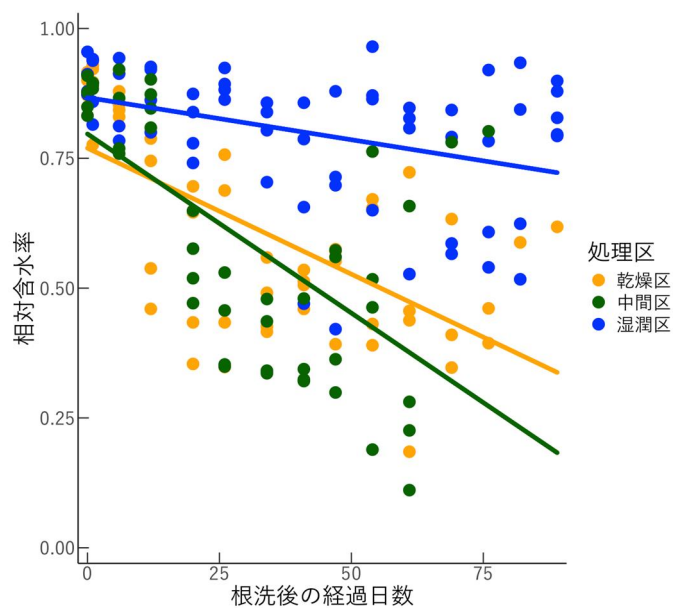


図 1-5 処理区別の相対含水率の経時変化

注 1) 直線は一般的分析による推定直線

2) 分散分析の結果：根洗後の経過日数, $P < 0.001$; 処理区, $P < 0.001$; 交互作用, $P < 0.001$

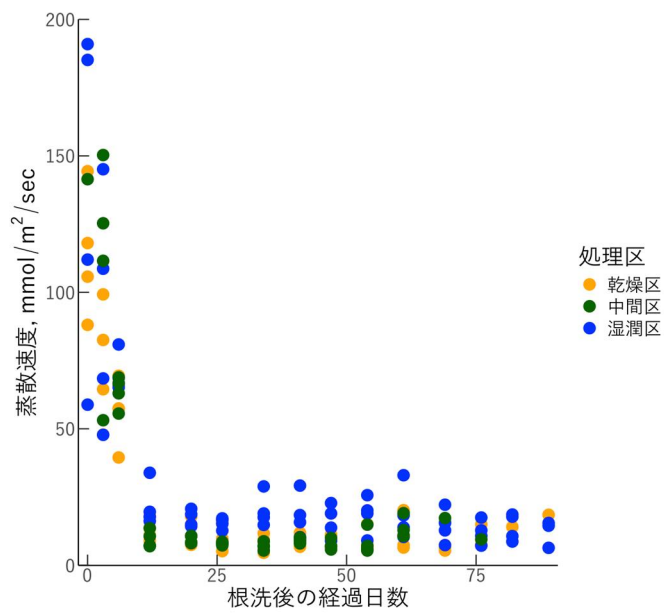


図 1-6 処理区別の蒸散速度の経時変化

注) リーフポロメーターSC-1 で測定

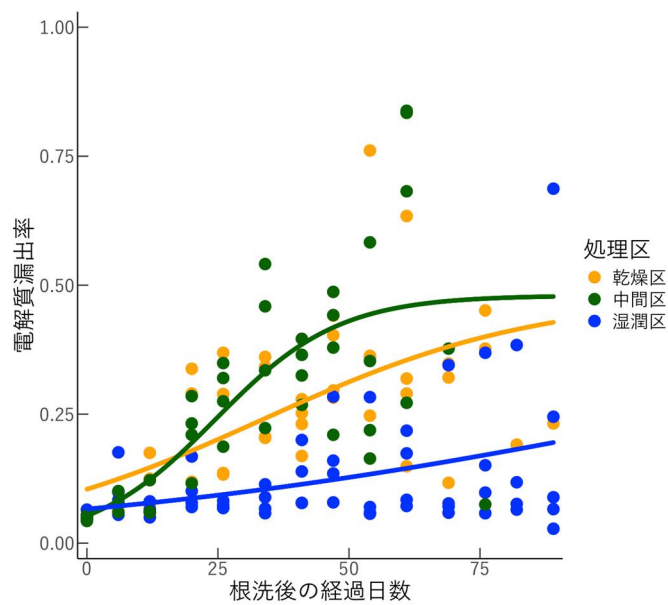


図 1-7 処理区別の電解質漏出率の経時変化

注) 曲線は R の nls 関数によるシグモイド曲線の推定値 (上限値は 0.48)
 推定式: 電解質漏出率 = $0.48 / (1 + \exp(-(b + a \times \text{根洗後の経過日数})))$
 処理区別に推定曲線を作成

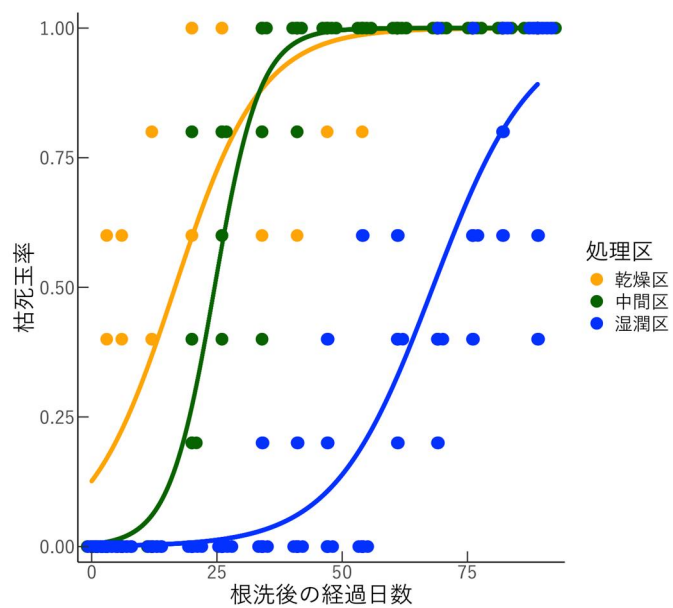


図 1-8 処理区別の枯死玉率の経時変化

注 1) 曲線は二項分布による GLM による曲線の推定値

モデル式: (枯死玉数, 健全玉数) ~ 処理区 × 根洗後の経過日数

2) 逸脱度分析の結果: 根洗後の経過日数, $P < 0.001$; 処理区, $n.s.$; 交互作用, $P < 0.01$



乾燥区



中間区



湿潤区

写真 1-1 根洗 69 日後の樹体の様子

注 1) 2024 年 9 月 17 日撮影

(2) 根洗い樹種の拡大（クロマツの根洗試験）

1) 供試樹種：クロマツ（樹高 3m、根鉢 80cm）

2) 試験区：摘葉区（葉の量を半分程度まで間引いた）

対象区（葉を間引かない）

根洗なし区（葉を間引かず、根洗をしない）

3) 試験規模：1区1株3反復

4) 耕種概要：匝瑳市内で栽培されていたクロマツを掘り上げ、2024年9月19日にクロマツを根洗い・殺線虫剤（ベノミル水和剤 500倍希釈）根部浸漬した。浸漬後、根部保湿資材としてピートモス（苦土石灰 2g/L で pH 調整済み）を、根部被覆資材としてストレッチフィルム（直鎖状低密度ポリエチレン、厚さ 15 μ m、以下ポリフィルムと表記）を供試した。その後、葉を処理区別に間引きし、地上部を麻布及び遮光資材で覆い、屋外に 3～4 週間静置した後、2024 年 10 月 15 日に根部保湿資材を除去し、山砂（成田層由来の砂質土）で圃場に定植した。定植後、遮光率約 60%（光透過率 40%）の条件下で管理した。

5) 調査：

調査は根洗い直後（2024 年 9 月 19 日）、定植時（2024 年 10 月 15 日）及び定植 3 か月後（2025 年 1 月 27 日）の 3 回行なった。根洗い直後と定植時には根を採取し、根傷み程度の分析も行なった。

ア 葉の含水率

葉を 5 枚採取し、生重量を測定した後に、70℃の乾燥機で 72 時間以上乾燥させ乾燥重量を測定した。

※含水率 = (1 - 乾燥重量 / 生重量) × 100

イ 葉の電解質漏出率

葉を 5 枚採取し、カミソリで各 5 片に切り分け、35ml の蒸留水に 24 時間浸漬後の EC (ECint) を測定し、その後 121℃15 分のオートクレーブにかけて EC (ECmax) を再度測定した。

※電解質漏出率 = ECint / ECmax

ウ 根の電解質漏出率

太さ 2mm 以下の根 4 cm × 5 本採取し、カミソリで各 5 片に切り分け、35ml の蒸留水に 24 時間浸漬後の EC (ECint) を測定し、その後 121℃15 分のオートクレーブにかけて EC (ECmax) を再度測定した。

エ 枯死玉率

供試樹の玉（造形樹における葉の塊）のうち、葉に褐変の見られた玉の割合

6) 実証の結果

2024 年 9 月 19 日にクロマツの根洗を実施した。その後、輸送環境を想定し、麻布と遮光ネットで梱包し、灌水せずに管理した。10 月 15 日には、匝瑳市内の露地圃場に定植し、根鉢にはピートモスまたは土をつけたままとした。定植後は、上部に遮光率 70%の銀色ネットを設置し、定植時には十分な水を与えたが、その後の給水は降雨のみとした。この期間中、病害虫の発生はなく、樹勢

への影響は根洗や摘葉処理によるものと考えられた。

クロマツの葉の含水率は、調査時点によって変化し、時間とともに低下した（図2-1）。処理区間での差は統計的に有意ではなかったが、根洗をしていない区（根洗なし区）に比べ、摘葉区と対照区では含水率が低い傾向がみられた。これは、根洗による影響と考えられた。

また、葉のダメージの指標として電解質漏出率を測定したところ、調査時点、処理区、およびその組み合わせによる影響がすべて有意であった（図2-2）。根洗なし区では電解質漏出率は常に0.1以下と低い値を保っていたが、根洗を実施した2つの処理区（摘葉区・対照区）では、定植前および根洗3か月後に電解質漏出率が上昇していた。したがって、クロマツの葉は根洗を行ったことで含水率が低下し、乾燥ストレスを受けていたと考えられた。

根の電解質漏出率についても調査したところ、調査時点によって有意な差がみられた（図2-3）。根洗前はどの区も同じ値であったが、定植前には摘葉区と対照区で値が増加していた。このことから、根洗処理によって根が損傷を受けていたと考えられた。定植3か月後の時点では、根洗なし区のクロマツは比較的健全であった。一方、摘葉区と対照区では個体の葉が褐変し、枯死していた（写真2-1、2-2）。枯死率を比較すると、摘葉区と対照区ではすべての個体が枯死し（100%）、根洗なし区と比べて有意に高い結果となった（図2-4）。

以上の結果から、クロマツでは根洗による葉や根への損傷が大きく、イヌマキで有効であった摘葉処理もあまり効果を発揮しなかったと考えられる。クロマツは外生菌根菌と共生することが知られており、根洗によって根圏にいた外生菌根菌を失った可能性が高い。菌根は水分や栄養の吸収を助ける役割を持っており、その喪失により樹体への水分供給が低下したと考えられる。したがって、クロマツはイヌマキよりも根洗に対する耐性が低く、摘葉だけでは十分な樹勢維持が難しいことが明らかとなった。今後は、摘葉に加えて、別の方法で樹勢を維持する対策が必要である。

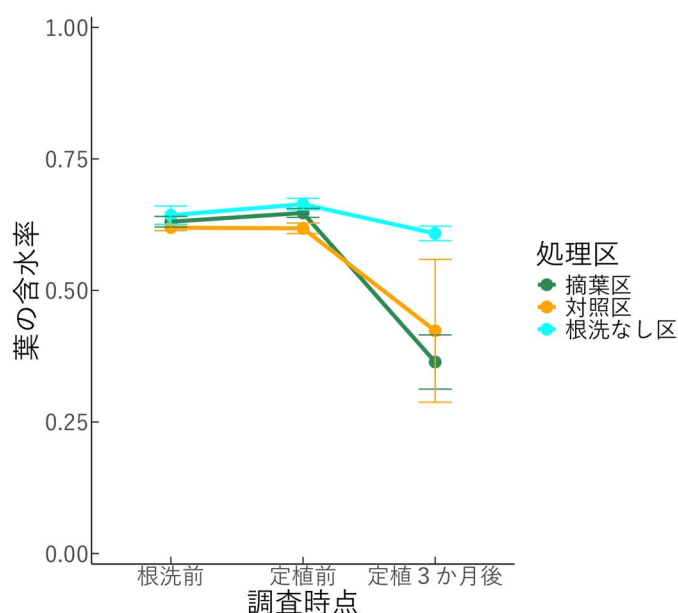


図2-1 クロマツにおける処理別の葉の含水率の推移

注1) 平均値±標準誤差 サンプルサイズ各3個体

2) 葉の含水率=1-葉の乾燥重÷葉の生重

3) 分散分析の結果：調査時点, $P<0.001$; 処理区, $n.s.$; 交互作用, $n.s.$

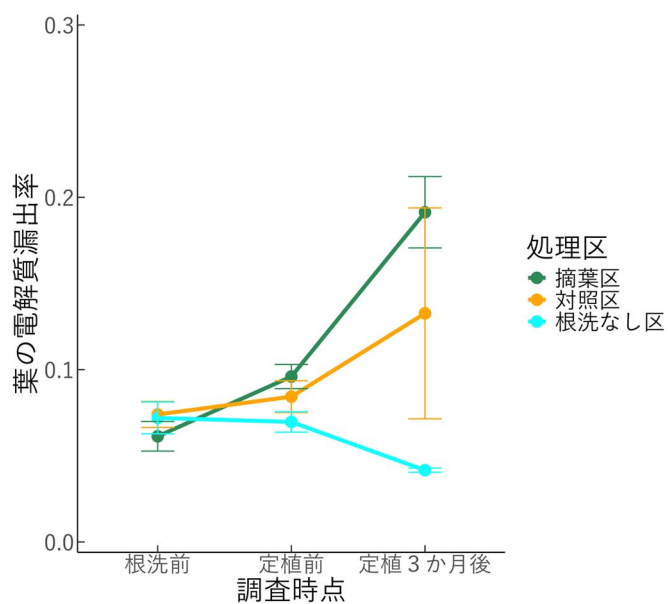


図 2-2 クロマツにおける処理別の葉の電解質漏出率の推移

注 1) 平均値±標準誤差 サンプルサイズ各3個体

2) 葉の電解質漏出率=蒸留水 24 時間浸漬後の電気伝導度÷オートクレーブ後の電気伝導度

3) 分散分析の結果：調査時点, $P<0.05$; 処理区, $P<0.05$; 交互作用, $P<0.05$

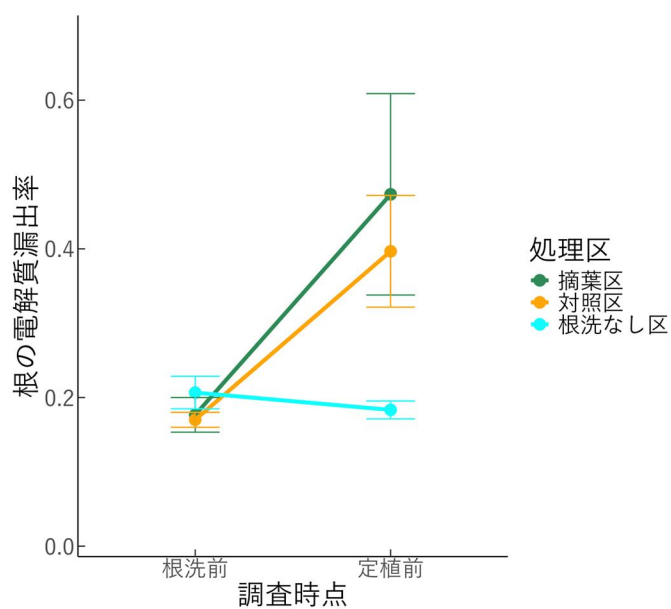


図 2-3 クロマツにおける処理別の根の電解質漏出率の推移

注 1) 平均値±標準誤差 サンプルサイズ各3個体

2) 根の電解質漏出率=蒸留水 24 時間浸漬後の電気伝導度÷オートクレーブ後の電気伝導度

3) 分散分析の結果：調査時点, $P<0.01$; 処理区, $n.s.$; 交互作用, $n.s.$



摘葉区



対照区



根洗なし区

写真 2-1 定植 3 か月後におけるクロマツの様子

注 1) 2025 年 1 月 27 日撮影



枯死した玉



健全な玉

写真 2-2 定植 3 か月後におけるクロマツの玉の様子

注 1) 2025 年 1 月 27 日撮影

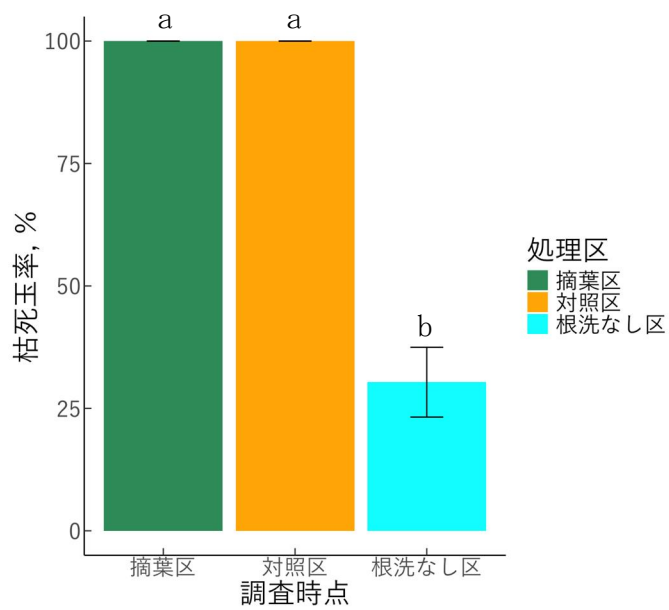


図2-4 定植3か月後におけるクロマツの処理別の根の電解質漏出率の推移

注1) 平均値±標準誤差 サンプルサイズ各3個体

2) 枯死玉率=枯死した玉数÷全玉数×100

3) 各調査時点において、逆正弦変換後に Tukey-Kramer 検定を実施 (有意水準: $P < 0.05$)
異なるアルファベット間で有意差あり

(3) 根洗い樹種の拡大（モミジの根洗試験）

1) 供試樹種：モミジ（樹高 5m、根鉢 90cm）

2) 試験区：全摘葉区（葉をほぼ全て除去した）

対象区（葉を 8 割程度間引いた）

※落葉樹のため、落葉を再現するため摘葉した

根洗なし区（葉を 8 割程度間引いて、根洗いをしない）

3) 試験規模：1 区 1 株 3 反復

4) 耕種概要：匝瑳市内で栽培されていたモミジを掘り上げ、2024 年 9 月 27 日にモミジを根洗い・殺線虫剤（ベノミル水和剤 500 倍希釈）根部浸漬した。浸漬後、根部保湿資材としてピートモス（苦土石灰 2g/L で pH 調整済み）を、根部被覆資材としてストレッチフィルム（直鎖状低密度ポリエチレン、厚さ 15 μ m、以下ポリフィルムと表記）を供試した。その後、葉を処理区別に間引きし、地上部を麻布及び遮光資材で覆い、屋外に 3～4 週間静置した後、2024 年 10 月 15 日に根部保湿資材を除去し、山砂（成田層由来の砂質土）で圃場に定植した。定植後、遮光率約 60%（光透過率 40%）の条件下で管理した。

5) 調査：

調査は根洗い直後（2024 年 9 月 27 日）、定植時（2024 年 10 月 15 日）及び定植 3 か月後（2025 年 1 月 27 日）の 3 回行なった。根洗い直後と定植時には根を採取し、根傷み程度の分析も行なった。

ア 枝の含水率

新梢の枝を 4 cm×5 本採取し、生重量を測定した後に、70℃の乾燥機で 72 時間以上乾燥させ乾燥重量を測定した。

※含水率＝ $(1 - \text{乾燥重量} / \text{生重量}) \times 100$

イ 枝の電解質漏出率

新梢の枝を 4 cm×5 本採取し、カミソリで各 5 片に切り分け、35ml の蒸留水に 24 時間浸漬後の EC（ECint）を測定し、その後 121℃15 分のオートクレーブにかけて EC（ECmax）を再度測定した。

※電解質漏出率＝ $\text{ECint} / \text{ECmax}$

ウ 根の電解質漏出率

太さ 2mm 以下の根 4 cm×5 本採取し、カミソリで各 5 片に切り分け、35ml の蒸留水に 24 時間浸漬後の EC（ECint）を測定し、その後 121℃15 分のオートクレーブにかけて EC（ECmax）を再度測定した。

エ 枯死側枝率

供試樹の側枝のうち、葉や枝に褐変の見られた側枝の割合

なお、定植 3 か月後時点では高い位置の枝の状態が判別困難であったため、定植前に調査した。

6) 実証の結果

2024 年 9 月 27 日に根洗を実施し、その後、輸送環境を想定して麻布と遮光ネットで梱包し、灌

水を行わずに管理した。10月15日に千葉県匝瑳市内の露地圃場において、根鉢にピートモスまたは土をつけたまま定植し、上部には遮光率70%の銀色ネットを設置した。定植時には十分な水を与えたが、その後の給水は降雨のみとした。この期間中、病害虫の発生は確認されず、樹勢への影響は根洗および摘葉処理によるものと考えられた。

モミジの枝の含水率については、調査時期により有意な変化が見られたが、処理区間および調査時期との交互作用に有意差はなかった（図3-1）。処理区間での大きな差は確認されなかったものの、定植前および定植3か月後の値は根洗前より低下する傾向があった。定植3か月後においては、全摘葉区、対照区、根洗なし区の順で含水率が低い結果となった。

枝の電解質漏出率については、処理区間で有意差が認められたが、調査時期および交互作用には有意差はなかった（図3-2）。統計的な差は明確ではないものの、根洗前から定植3か月後にかけて増加傾向がみられた。特に定植3か月後には、全摘葉区の電解質漏出率が他の2区より高くなっていた。これにより、モミジの枝は全摘葉区、対照区、根洗なし区の順で乾燥ストレスを受けていたと考えられる。ただし、処理区間での差は比較的小さく、根洗を実施した2区と根洗なし区の違いに大きな違いはなかった。

根の電解質漏出率については、調査時点、処理区間、交互作用のいずれにも有意差はみられなかった（図3-3）。また、根洗の前後で値の変化もなく、根洗による根への損傷は軽微であると推察された。このことから、モミジは根洗に対する耐性が高い可能性がある。

定植時にモミジの側枝を調査したところ、いずれの処理区においても乾燥等による褐変した側枝は一部にとどまり、激しく枯死した個体は確認されなかった（写真3-1、3-2）。定植時の枯死側枝率は、全摘葉区および対照区で30~40%、根洗なし区で約10%であったが、ばらつきが大きく、処理区間の間に有意差は認められなかった（図3-4）。また、最も枯死側枝率が高い個体においても、枯れは枝先の一部に限定され、商品性の著しい低下はみられなかった。その後の定植3か月後の観察でも、目立った枯死はなく、全個体の生存が確認された。

以上の結果から、モミジは根洗を実施した処理区と未実施の処理区において顕著な違いが見られず、根洗による損傷は軽微であると考えられる。モミジは根洗に対して比較的耐性があると推察された。また、全摘葉区と対照区の差は小さく、8割程度の摘葉処理や落葉期の根洗処理だけで、モミジは輸出に耐えうる可能性が高い。

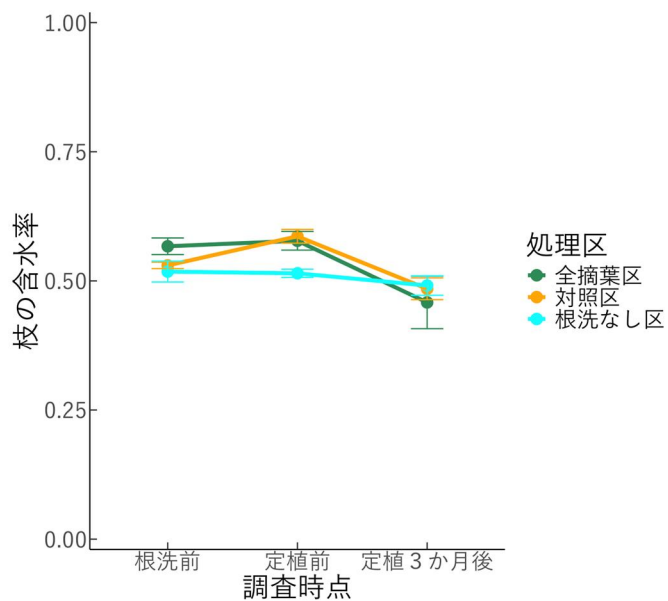


図3-1 モミジにおける処理別の枝の含水率の推移

- 注1) 平均値±標準誤差 サンプルサイズ各3個体
 注2) 枝の含水率=1-枝の乾燥重÷枝の生重
 注3) 分散分析の結果：調査時点, $P<0.01$; 処理区, $n.s.$; 交互作用, $n.s.$

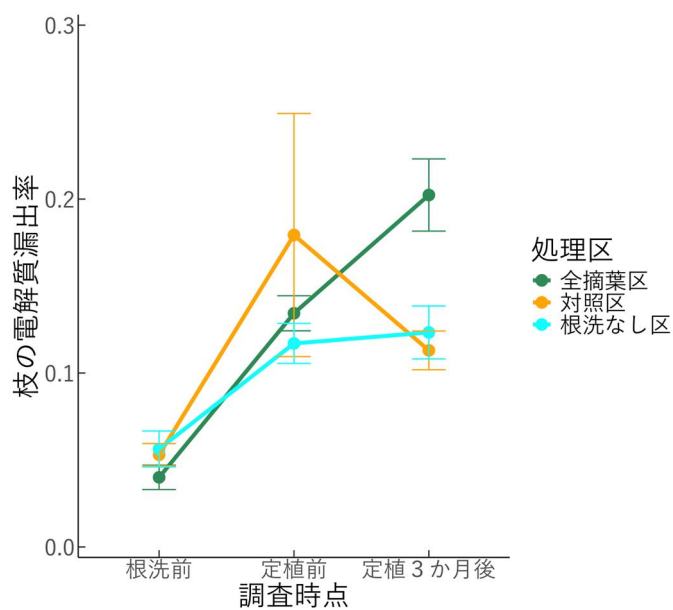


図3-2 モミジにおける処理別の枝の電解質漏出率の推移

- 注1) 平均値±標準誤差 サンプルサイズ各3個体
 注2) 葉の電解質漏出率=蒸留水24時間浸漬後の電気伝導度÷オートクレーブ後の電気伝導度
 注3) 分散分析の結果：調査時点, $n.s.$; 処理区, $P<0.001$; 交互作用, $n.s.$

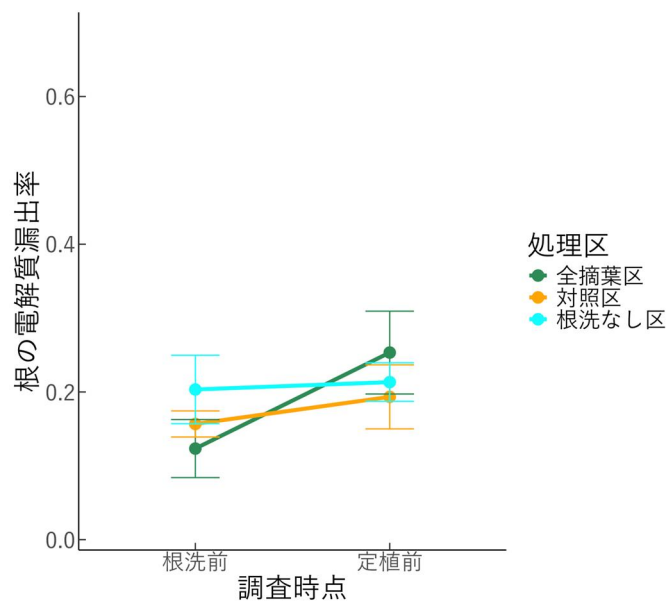


図 3-3 モミジにおける処理別の根の電解質漏出率の推移

注 1) 平均値±標準誤差 サンプルサイズ各 3 個体

2) 葉の電解質漏出率=蒸留水 24 時間浸漬後の電気伝導度÷オートクレーブ後の電気伝導度

3) 分散分析の結果：調査時点, *n.s.*; 処理区, *n.s.*; 交互作用, *n.s.*



摘葉区



対照区



根洗なし区

写真 3-1 定植時におけるモミジの様子

注 1) 2025 年 1 月 27 日撮影



健全な側枝



枯死した側枝

写真 3-2 定植時におけるモミジの側枝の様子

注 1) 2024 年 10 月 15 日撮影

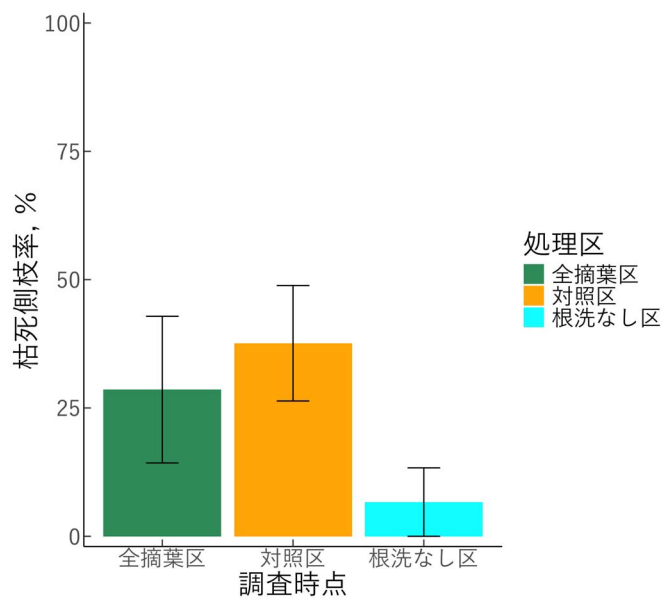


図 3-4 定植時におけるモミジの処理別の枯死側枝率の推移

注 1) 平均値±標準誤差 サンプルサイズ各 3 個体

2) 枯死率 = 枯死した側枝数 ÷ 調査した側枝数 × 100
樹高が高かったため、目視で確認できた範囲で調査

3) 各調査時点において、逆正弦変換後に Tukey-Kramer 検定を実施 (有意水準: $P < 0.05$)
いずれの調査時点でも有意差なし