

スギ挿し木ペーパーポット苗とコンテナ苗の根鉢強度の比較

伊藤 哲^{*1}・徳田 楓¹・平田 令子¹・栗田 学²・長倉 良守³

スギ挿し木コンテナ苗とペーパーポット苗の根鉢強度を比較することを目的として、ペーパーポット苗を用いた落下試験を行い、根量および根系による根鉢の表面被覆率と落下の衝撃で脱落する培地の割合との関係を、既報のコンテナ苗と比較した。その結果、ペーパーポット苗でコンテナ苗に比べ根系による表面被覆率が同等あるいは低い状態であっても、培地の脱落量が少なかった。一般化線形モデルの解析結果も、ペーパーポット苗の培地がコンテナ苗よりも脱落しにくく、ペーパーポットの培地保護効果が大きいことを示していた。このことから、ペーパーポット苗はポットの培地保護効果によりコンテナ苗に比べて根鉢の破壊が起きにくいことが実証できた。

キーワード：表面被覆率、根量、含水率、脱落培地率、GLM

Satoshi Ito,^{*1} Kaede Tokuda,¹ Ryoko Hirata,¹ Manabu Kurita,² Yoshimori Nagakura³ (2023) Comparison of Root Ball Strength of Paper Pot- and Container-grown Sugi Cuttings. *J Jpn For Soc* 105: 11-15 We conducted dropping experiments of the root ball of sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) cuttings grown in paper pots in order to compare the destructive strength of root balls with those of container-grown root balls reported in a previous study. Only small amount of soil medium was detached from paper pot-grown root ball in most droppings in spite of similar or lower root coverage of root ball surface (CRBS) compared to containerized root ball. Generalized linear models performed also demonstrated less soil detachment of paper pot-grown root balls than containerized root-balls under various CRBS and water content, indicating high effectiveness of paper pot in protecting the root balls of cuttings.

Key words: root coverage of root ball surface (CRBS), root biomass, relative water content, detached soil medium, generalized linear model


I. はじめに

近年全国的に普及が進んでいるマルチキャビティコンテナ苗（以下、コンテナ苗）（梶本ら 2016；中村 2019a, 2019b）は、根と培地とで塊状に形成される根鉢が水分や養分を出荷後もある程度保持でき（齋藤ら 2019；伊藤・平田 2019）、厳しい乾燥条件下でも裸苗に比べて活着がよいことが報告されている（新保ら 2016；伊藤ら 2019）。このメリットを発揮する上では根鉢が十分に形成され、培地が崩れないことが重要であることから（齋藤ら 2019；伊藤ら 2019）、スギ実生苗（齋藤ら 2019）と挿し木苗（伊藤ら 2022）で根鉢の強度の定量的評価が行われ、根系発達との関係が報告されている。

一方、マルチキャビティコンテナは、育苗密度が固定される（すなわち育苗期間中の変更が困難である）こと（平田ら 2019）、根鉢が過剰に形成されると苗木を育成孔から取り出すことが困難になること（齋藤ら 2019）などの欠点も指摘されている。これらの欠点を補う新たな育苗方法として、ペーパーポットのスギ苗への適用も検討されてきている（平田ら 2019）。ペーパーポット苗はコンテナ苗と同様に培地と根系が一体化した苗である。ペーパーポットは軽量小型であるため取り扱いが簡単であることに加え

て、ポット同士を互いに切り離せるため、育苗密度を容易に変更でき、徒長の防止や長期の育苗に適応できるなど様々な利点がある（築瀬 1993）。平田ら（2019）はペーパーポットで育成されたスギ挿し木苗の育苗中および植栽後の成長と根系発達を調査し、その有効性を報告している。コンテナ苗に対するこれらのメリットに加えて、根鉢の強度の面からは、根鉢を包むペーパーポットに根鉢を保護する効果も期待される。すなわち、生分解性のペーパーポットは育苗容器ごと移植が可能なることから、根鉢の形成状態がある程度不十分であっても、植栽後の成長に影響を与えない程度であれば、ペーパーポットが根鉢を保護し、培地が崩れることなく出荷、植栽できる可能性がある。ただし、ペーパーポットによる根鉢の保護効果を実験的に評価した研究例はなく、培地の含水率や根系量など、保護効果の有効性に影響する可能性のある要因についても検討された例は見当たらない。

そこで本研究では、ペーパーポットの保護効果によりペーパーポットで育成したスギ挿し木の根鉢がコンテナ苗と比べて壊れにくいことを実証することを目的として、ペーパーポット苗の落下試験による根鉢強度の評価を行い、根量および表面被覆率と落下の衝撃で脱落する培地の割合との関係を、既報のコンテナ苗と比較した。

*連絡先著者 (Corresponding author) E-mail: s.ito@cc.miyazaki-u.ac.jp  <https://orcid.org/0000-0003-2198-5729>

¹ 宮崎大学農学部 〒889-2192 宮崎県宮崎市学園木花台西 1-1 (Faculty of Agriculture, University of Miyazaki, 1-1 Gakuen-kibanadai-nishi, Miyazaki, Miyazaki 889-2192, Japan)

² 国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所 林木育種センター 〒319-1301 茨城県日立市十王町伊師 3809-1 (Forest Tree Breeding Center, Forestry and Forest Products Research Institute, Forest Research and Management Organization, 3809-1 Ishi, Juo, Hitachi, Ibaraki 319-1301, Japan)

³ 株式会社長倉樹苗園 〒889-1701 宮崎県宮崎市田野町甲 1599-1 (Nagakura Nursery Co., Ltd., 1599-1 Tanocho-kou, Miyazaki, Miyazaki 889-1701, Japan)

(2022年8月10日受付；2022年11月22日受理；2023年1月20日発行)

©2023 一般社団法人日本森林学会：この著作はクリエイティブ・コモンズのライセンス CC BY-NC-ND (引用を表示し、改変せず、非営利目的に限定) の条件の下で再配布・二次利用が可能なオープンアクセスです。 <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.jp>

II. 方 法

1. 材料

本研究では、FS610規格（容器径6cm×容器高10cm）のペーパーポット（日本甜菜製糖株式会社製）を用いて育成されたペーパーポット苗を材料に用いた。ペーパーポットの底面は覆われておらず開いている。育苗方法の概略は以下のとおりである。まず、挿し穂を露地挿しで発根させ、これをペーパーポットへ移植する。苗の移植は、使用前に折りたたまれているペーパーポットをハチの巣状に広げた状態（個々のポットがつながった状態）で行うが、今回使用した苗は、移植の約1カ月後にポット同士を互いに切り離し、その後はポットをシステムトレイに配置して育苗されている。培地はスギバークと赤土を4:1の割合で混ぜたものを使用した。本研究で比較対象とする既報（伊藤ら 2022）のコンテナ苗は、300ccのマルチキャビティコンテナ（JFA300）苗をコンテナから抜いて目視で培地表面の根系の発達を確認し、表面被覆率が異なるもの15本が実験に供試されている。しかし、ペーパーポット苗は根鉢がペーパーポットで覆われており、事前に目視での判断ができないため、育成期間の異なる苗を準備して実験に供試した。なお、本研究では、後述するように培地の含水率を変えて実験を行うために、2019年6月20日（当初実験）と同9月2日（追加実験）の2度に分けて実験を実施している。6月20日の当初実験には、育成期間の異なる3つのグループからそれぞれ5本ずつ計15本の苗を供試した。各グループの露地挿しおよびペーパーポットへの移植の時期は、【2017年11月露地挿し・2018年3月移植：移植後の育苗期間は約15カ月】、【2018年3月露地挿し・2018年6月移植：移植後の育苗期間は約12カ月】、【2018年11月露地挿し・移植：2019年3月：移植後の育苗期間は約3カ月】である。また、9月2日の追加実験には、【2018年3月露地挿し・2018年6月移植：移植後の育苗期間は約14カ月】、【2018年3月露地挿し・2018年7月移植：移植後の育苗期間は約13カ月】、および【2019年3月露地挿し・移植：2019年7月移植：移植後の育苗期間は約1カ月】の3グループからそれぞれ5本ずつを選び、計15本を供試した。なお、育苗期間中の灌水量は通常の育苗時と同様とし、実験開始前の最終灌水量は培地の水分が圃場容水量に達する程度に十分に灌水した。

2. 実験および測定方法

落下実験は、既報（伊藤ら 2022）によるコンテナ苗の実験と同じ方法で、ただしペーパーポットを付けた状態で行った。既報のコンテナ苗については、培地の含水率の違いを評価に加えるために、2019年6月20日（最終灌水終了から約1日後：通常の苗の出荷のタイミングと同じ）および同年9月6日（最終灌水の10日後）に実験が行われている。ペーパーポット苗についても、1度目は6月20日（最終灌水終了から約1日後）に当初実験を行ったが、この時の培地の含水率がコンテナ苗と比べて著しく低かったため、コンテナ苗と同程度の培地の含水率で実験を行うために、9月2日に十分に灌水を行った後、その3時間後に

追加実験を実施した（図-1参照）。実験に使用したペーパーポット苗および比較対象とした既報（伊藤ら 2022）のコンテナ苗の概要を表-1に示す。

落下実験では、幹をつかんで根鉢の底面の高さが1mになるように苗を持ち上げ、その場で手を離し、垂直に落下させた。これを1本の苗で計3回行い、落下後1回ごとに脱落した培地の生重量を測定し、その後、65℃で48時間乾燥させて乾燥重量を測定した。また、落下実験終了後に苗から分離した培地の生重量を計測し、その後65℃で48時間乾燥させて乾燥重量を測定した。

以上の実験の後、以下の項目を既報（伊藤ら 2022）と同様に計測および算出した。

- 1) 脱落培地率：全培地の乾燥重量に対する各落下回までの積算の脱落培地量の割合（%）を算出した。
- 2) 根系による培地の表面被覆率（以下、表面被覆率）：落下実験後にペーパーポットを剥ぎ、根鉢の写真を撮影し、根の部分に白色、それ以外の部分を黒色となるように二値化処理した。撮影条件および二値化処理の方法は既報（伊藤ら 2022）と同じである。白い根の部分のピクセル数を写真全体のピクセル数で除して根系による培地の表面被覆率とした。二値化処理には、画像編集ソフトGIMP2.10.8（The GIMP Development Team 2019）を利用した。
- 3) 根量：落下実験終了後に、使用した苗の主軸から根を切り取り、65℃で48時間乾燥させて乾燥重量を測定した。
- 4) 含水率：培地の生重量と乾燥重量から、実験終了時

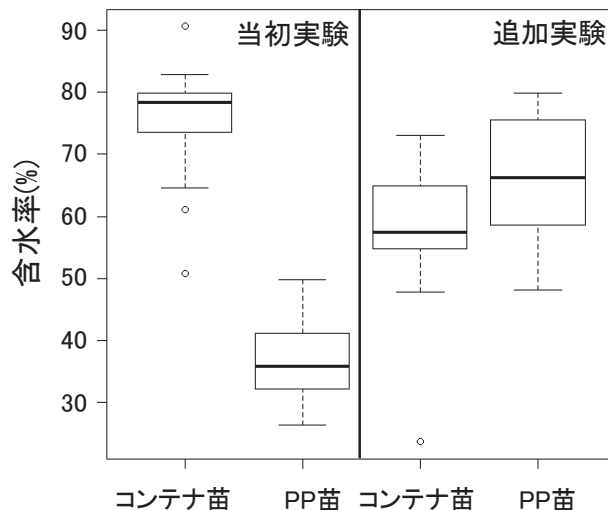


図-1. 当初実験および追加実験におけるコンテナ苗とペーパーポット苗（PP苗）の培地の含水率

表-1. 実験に使用したペーパーポット苗および比較対象としたコンテナ苗（伊藤ら 2022）の概要

実験	苗種	本数	苗高 (cm)	地際直径 (mm)
当初実験	コンテナ苗 ¹⁾	15	49.8 (6.0) ²⁾	7.30 (1.32)
	ペーパーポット苗	15	47.6 (11.8)	7.83 (1.57)
追加実験	コンテナ苗 ¹⁾	14	35.8 (6.0)	6.06 (1.12)
	ペーパーポット苗	15	38.5 (5.7)	6.89 (0.47)

¹⁾ 伊藤ら (2022) より引用。²⁾ 苗高および地際直径の数値は平均値（標準偏差）を表す。

の培地の含水率を算出した。

3. 統計解析

培地の脱落量に影響を与えている要因を明らかにするために、目的変数を各落下回までの積算脱落培地量、説明変数を苗種（ペーパーポット苗・コンテナ苗）、根量、含水率および表面被覆率、オフセット項を全培地量（乾重）とする一般化線形モデル（GLM）を構築した（確率分布：ガンマ分布，link function：log）。モデル構築には既報（伊藤ら 2022）を含むすべての実験データ（ペーパーポット苗：6月20日および9月2日，コンテナ苗：6月20日および9月6日）をプールして使用した。それぞれの目的変数について、すべての説明変数の組み合わせ（それぞれ11通り）のモデルを試行し、AICが最小となったモデルを最も予測力の強い最適モデルとして採用した。なお、多重共線性を考慮して、「根量」と「表面被覆率」は同一モデル中に用いなかった。得られた偏回帰係数は事後に標準化を行った。

また、ペーパーポット苗の根量と表面被覆率の関係を、共分散分析により既報のコンテナ苗（伊藤ら 2022）における関係と比較するとともに、ペーパーポットへの移植後の月数の異なるグループ間で根量および表面被覆率をSteel-Dwass検定により比較した。

統計解析には統計ソフトウェア R（version 3.5.0）を使用した（R core team 2018）。

III. 結 果

1. 実験時の培地の含水率

通常の出荷条件に合わせて実施した6月20日の当初実験時のペーパーポット苗の培地の含水率の平均は36%であり、比較対象のコンテナ苗（75%）（伊藤ら 2022）に比べて低かった（図-1）。最終灌水からの時間を変えた追加実験のペーパーポット苗では67%（9月2日計測）であり、コンテナ苗の（58%：9月6日計測）との差は当初実験よりも小さかった。

2. 根量と表面被覆率との関係

当初実験および追加実験に用いた全てのペーパーポット苗の根量と表面被覆率との関係を図-2に示す。根量と表面被覆率には直線関係が認められたが（ $R^2=0.57$, $p<0.001$ ）、比較対象としたコンテナ苗（ $R^2=0.73$, $p<0.001$ ）（伊藤ら 2022）に比べてややばらつきが大きかった。また根量（根乾重）と表面被覆率の関係はペーパーポット苗とコンテナ苗とで有意に異なり（共分散分析, $p<0.001$ ）、同等の根量ではペーパーポット苗で表面被覆率が低い傾向にあった。根量と表面被覆率はペーパーポットへの移植後の経過月数が少ない苗で小さい傾向があったが（表-2）、経過月数間で統計的に有意な差は認められなかった（ $p>0.05$ ）。

3. 根量および表面被覆率と脱落培地率との関係

根量（根乾重）と脱落培地率との関係を図-3に示す。ペーパーポットの培地の含水率がコンテナ苗よりも低かった当初実験（図-3(A)）では、ペーパーポット苗は3回の落下を通して培地がほとんど脱落せず、根量が少ない苗で培地

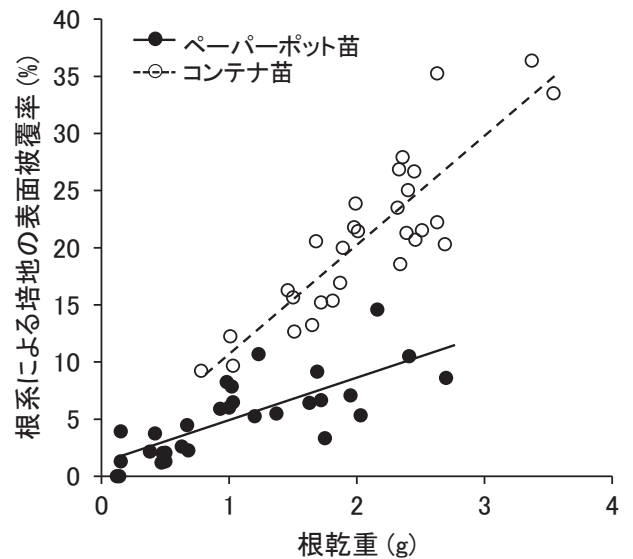


図-2. コンテナ苗とペーパーポット苗の根乾重と根系による培地の表面被覆率の関係の比較

コンテナ苗については伊藤ら（2022）のデータを用いて描かれている。

表-2. ペーパーポットへの移植後の月数の異なる苗グループごとの根乾重および根系による培地の表面被覆率

実験	露地挿しの時期	移植後の月数	根乾重 (g)	培地の表面被覆率 (%)
当初実験	2017年11月	15	2.088 (0.405) ¹⁾	7.184 (2.386)
	2018年3月	12	1.548 (0.373)	6.494 (1.401)
	2018年11月	3	0.540 (0.099)	2.218 (0.933)
追加実験	2018年3月	14	1.212 (0.507)	9.160 (3.361)
	2018年3月	13	0.842 (0.295)	4.360 (1.938)
	2019年3月	1	0.188 (0.097)	1.474 (1.471)

¹⁾ 根乾重および培地の表面被覆率の数値は平均値（標準偏差）を表す。

脱落率が高かったコンテナ苗（伊藤ら 2022）と異なる傾向を示した。培地の含水率が高かった追加実験の結果（図-3(B)）では、一部のペーパーポット苗で14~30%程度の脱落培地率が観察されたが、これらは根乾重が0.5g以下の苗の2回目までおよび3回目までの4事例に限られ、その他の苗は脱落培地率が5%と低かった。

表面被覆率と脱落培地率との関係（図-4）は、図-2の結果を受けて、ペーパーポット苗では表面被覆率が既報のコンテナ苗（伊藤ら 2022）よりも低いにも関わらず、脱落培地率がコンテナ苗よりも著しく小さいという結果になった。

4. GLM

積算脱落培地量を目的変数とするGLMとモデル選択の結果、選択された最適モデルのAICおよび採択された説明変数とその標準化偏回帰係数（SRC）を表-3に示す。1回目までのモデルでは、苗種および表面被覆率を説明変数に採用したモデルが最適モデルとして選択された。2回目までおよび3回目までの最適モデルでは、含水率も有意な説明変数として採択された。根量はいずれのモデルでも説明変数に採択されなかった。苗種のSRCはいずれも負の値を示し（1回目：-3.01，2回目：-3.05，および3回目：-3.09），またその絶対値は他の説明変数に比べて大きく、ペーパーポット苗でコンテナ苗に比べて積算脱落培地量が

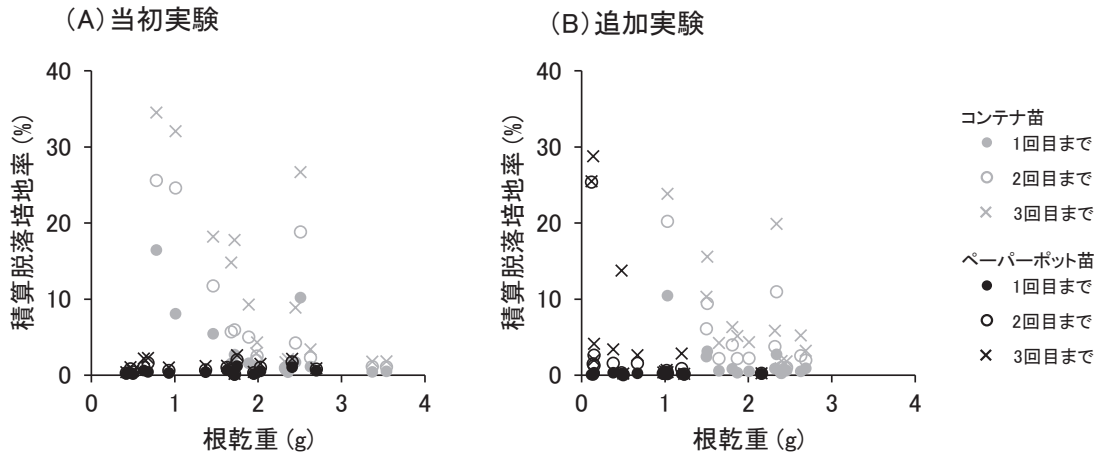


図-3. 当初実験(A)および追加実験(B)におけるペーパーポット苗とコンテナ苗の根乾重と積算脱落培地率との関係

コンテナ苗については伊藤ら (2022) のデータを用いて描かれている。

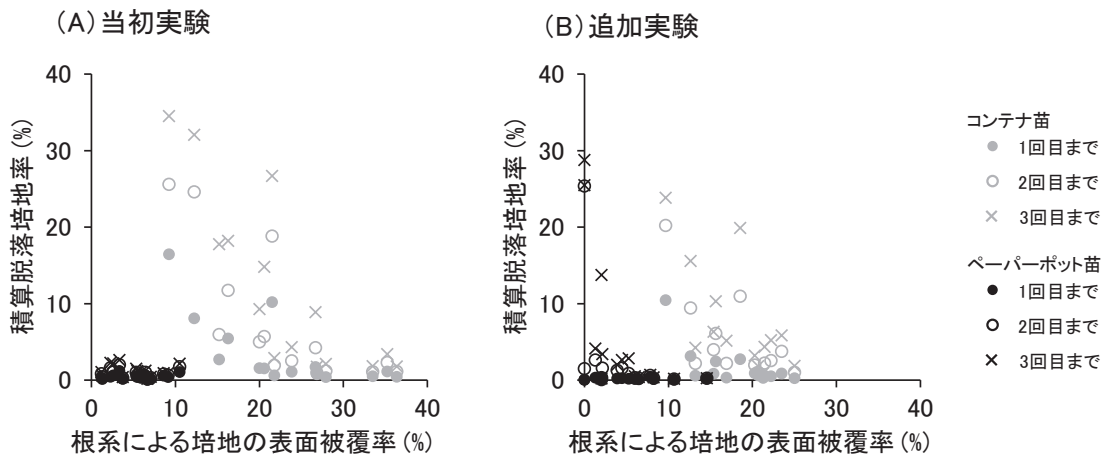


図-4. 当初実験(A)および追加実験(B)におけるペーパーポット苗とコンテナ苗の根系による培地の表面被覆率と積算脱落培地率との関係

コンテナ苗については伊藤ら (2022) のデータを用いて描かれている。

表-3. 積算脱落培地量の一般化線形モデルの結果 (最適モデル) の要約

回数	AIC	切片	標準化偏帰係数			
			苗種 (PP 苗)	根量	表面被覆率	含水率
落下 1 回目	-15.13	-2.22***	-3.01***	—	-0.87**	—
落下 2 回目	46.69	-2.98**	-3.05***	—	-0.67***	0.30***
落下 3 回目	60.11	-3.47***	-3.09***	—	-0.71***	0.41***

***は $p < 0.001$, **は $p < 0.01$ を示す。—は有効変数として採用されなかったことを示す。

少なくなる結果であった。表面被覆率のSRCも同様に負の値を示した (-0.87, -0.67, および -0.71)。落下2回目までと3回目までのモデルでは、含水率のSRCが正の値をとり (0.30 および 0.41), 含水率が高いほど脱落培地率が増加する結果を示した。

IV. 考 察

本研究の測定により、コンテナ苗に比べてペーパーポット苗は培地が脱落しにくいことが実証できた (図-3, 4)。緑化木を移植する際に根鉢を包む「根巻き」は、鉢内の根

を土と密着させる効果があるとされる (内田・荻原 1993)。これと同様に、ペーパーポットが培地の表面を覆うことで、落下の衝撃時に培地の脱落を防ぐことができたと考えられる。また、苗種以外の要因を考慮した一般化線形モデルの解析結果 (表-3) も、ペーパーポット苗の培地がコンテナ苗よりも脱落しにくく、ペーパーポットの培地保護効果が大きいことを示している。コンテナ苗では、根の発達やこれに伴う表面被覆が根鉢の物理的強度を大きく左右するとされている (齋藤ら 2019; 伊藤ら 2022)。しかし、ペーパーポット苗の場合、根乾重が同程度の場合や根系による根鉢の表面被覆率が低い場合でも、脱落培地率がコンテナ苗に比べて著しく低かった (図-3, 4)。したがって、ペーパーポット苗の場合、発達した根系による根鉢表面の被覆がコンテナ苗ほど高くなくても、根鉢の強度は保証されるといえるだろう。

培地の含水率をコンテナ苗と同等に高く設定した追加実験 (9月2日実施) の結果では、ペーパーポット苗で脱落培地率が高くなったケースも少数確認された (図-3, 4)。これはペーパーポットの素材が紙であるため、含水率が高い場合に落下の衝撃でポットの一部分が破損してしまった

めであった。しかし、この追加実験でも、コンテナ苗と同程度の根乾重の範囲 (1~2.5 g) ではペーパーポットの脱落培地率は著しく低かった (図-3)。また一般化線形モデルの解析結果 (表-3) は、含水率の影響が苗種の違いの影響よりも小さいことを示唆していた。さらに、一般的な出荷条件で計測した当初実験におけるペーパーポット苗の培地の含水率はペーパーポットで 36% と低かったことから (図-1)、コンテナ苗と同様の灌水条件で出荷する限り、実際の出荷において含水率が高いことによるポットの破損や培地の脱落の危険性は低いと予想される。したがって、ペーパーポット苗はコンテナ苗に比べて根鉢の破壊が起きにくいと考えてよいだろう。

なお、コンテナ苗と同じ根量でペーパーポット苗の表面被覆率が低かった (図-2) のは、ペーパーポットの素材 (紙) の特徴として通気性が良い (築瀬 1993) ため、互いに切り離されたペーパーポットの側面からも水分が蒸発することにより根鉢表面付近が乾きやすく、これによって一種の「空気根切り」のような効果を受けているからと推察される。

以上のように、本研究で、ペーパーポット苗はポットの培地保護効果によりコンテナ苗に比べて根鉢の破壊が起きにくいことが実証できた。本研究で実験に供した苗の中には、ペーパーポットに移植されて 3 カ月のペーパーポット苗も含まれていたが、これらの苗でも一般的な出荷条件で計測した当初実験ではほとんど培地を脱落させていなかった。したがって、この時点での根量 (表-2) で、植栽後に問題なく活着させることができるのであれば、ペーパーポット苗の場合早期に出荷できる可能性があると考えられる。ただし、一定期間内での根系の発達は、使用するスギの系統、育苗環境や季節で大きく異なると予想されることから、今回の結果のみでペーパーポット苗の出荷基準を移植後 3 カ月とするのは危険である。また、根系発達が著しく不十分な挿し木苗では、野外植栽後の活着率が落ちること (伊藤ら 2019) や、衝撃により培地が破壊されなくても挿し穂が培地から抜け落ちる恐れもあるため、ペーパーポット苗であってもある程度の根系を発達させてから出荷するのが現実的であろう。

謝 辞

本研究の一部は農研機構生研支援センター「イノベーション創出強化研究推進事業」(30028C) および日本学術振興会科学研究費補助金 (16H14945) の支援を受けて行った。

開示すべき利益相反はない。

引用文献

- 平田令子・伊藤 哲・古里和輝・長倉良守 (2019) 生分解性ペーパーポットを用いたスギ挿し木苗の植栽 2 年間の成長と根系発達. 日林誌 101: 201-206
- 伊藤 哲・平田令子 (2019) ココナツハスク 100% 培地は保水性も透水性も良好. (低コスト再造林への挑戦—貫作業システム・コンテナ苗と下刈り省力化. 中村松三・伊藤 哲・山川博美・平田令子編著, 日本林業調査会). 56-65
- 伊藤 哲・新保優美・平田令子・溝口拓朗 (2019) 異なる灌水条件下で夏季植栽したスギ挿し木コンテナ苗および裸苗の活着とその要因. 日林誌 101: 122-127
- 伊藤 哲・徳田 楓・平田令子・栗田 学・長倉良守 (2022) 落下実験によるスギ挿し木コンテナ苗の根鉢強度の評価—根系による根鉢表面被覆率を用いた検討—. 日林誌 104: 106-110
- 梶本卓也・宇都木玄・田中 浩 (2016) 低コスト再造林の実現にコンテナ苗をどう活用するか—研究の現状と今後の課題—. 日林誌 98: 135-138
- 中村松三 (2019a) 1.1. 再造林をとりまく現状と課題. (低コスト再造林への挑戦—貫作業システム・コンテナ苗と下刈り省力化. 中村松三・伊藤 哲・山川博美・平田令子編著, 日本林業調査会). 14-23
- 中村松三 (2019b) 3.1. コンテナ苗とは?. (低コスト再造林への挑戦—貫作業システム・コンテナ苗と下刈り省力化. 中村松三・伊藤 哲・山川博美・平田令子編著, 日本林業調査会). 56-65
- R Core Team (2018) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>
- 齋藤隆実・小笠真由美・飛田博順・矢崎健一・壁谷大介・小黒芳生・宇都木玄 (2019) スギコンテナ苗における根鉢の物理的性質の定量的評価. 日林誌 101: 145-154
- 新保優美・平田令子・溝口拓朗・高木正博・伊藤 哲 (2016) スギコンテナ苗は夏季植栽で本当に有利か?—植栽時の水ストレスから 1 年後の活着・成長・物質分配までの比較—. 日林誌 98: 151-157
- The GIMP Development Team (2019) GIMP—GNU Image Manipulation Program. Available from: <https://www.gimp.org> (2020 年 1 月 20 日参照)
- 内田 均・萩原信弘 (1993) 根巻き資材の現状と今後の課題について. 造園雑誌 56(5): 139-144
- 築瀬俊雄 (1993) 育苗用素材移植栽培用ペーパーポット. 「農業と繊維・高分子」特集 49(8): 299