

3 熱帯乾燥林における M-StAR 長根苗を用いた森林再生技術開発

3.1 実証する森林再生技術の背景と課題

明瞭な乾季を持つ乾燥地では、植栽後最初に迎える乾季に枯死が起きやすい(F. M. Padilla & Pugnaire, 2007; Villar-Salvador et al., 2012) という技術上の課題がある。この要因の一つとして、苗木の植栽直後は根が土壌表層にしか発達していないことがあげられる。実際、乾燥・半乾燥地では、深根性の樹種が多く、また植栽した苗木の生残と根の到達深度との相関が報告されている(León et al., 2011; Ovalle et al., 2015; Francisco M. Padilla et al., 2007)。そこで、植栽初期の確実な活着には、育苗段階における苗木の質の向上、すなわち垂直方向へ発達を促す根系の形成が重要になってくる (Cortina et al., 2013; Grossnickle, 2005, 2012; Tsakalidimi et al., 2005)。

コンテナ苗においては、コンテナのデザイン(size, shape, structure etc.)により、苗の形態的特徴、特に根の発達システムを劇的に変えることができるため (Aphalo & Rikala, 2003; Dominguez-Lerena et al., 2006; Landis et al., 1990)、これまで主として温帯樹種を対象に、様々なコンテナを用いた苗の形質の比較試験が行われてきた (Nesmith & Duval, 1998; Pinto et al., 2011)。

通常通りの径で、深さ方向だけを長くしたコンテナで育てた長根苗は、根鉢が深く、植栽後は根が土壌深部にいち早く到達することができるため活着がよいとされている(Bainbridge, 2012; D. R. Dreesen & Fenchel, 2010)。深さ 30cm 以上の長根苗が、*Quercus* spp.(Chirino et al., 2008; Mariotti et al., 2015; Pemán et al., 2006)、*Juniperus* spp.(Yanjun et al., 2011)、*Acacia* (= *Vachellia*) *caven*(De La Fuente et al., 2017) 等の地中海樹種や溪畔性の樹種 (D. Dreesen et al., 2002; Sagrera et al., 2013)で育苗されている。実際、根の成長ポテンシャルを測る root growth potential (RGP) テストでは、深いコンテナ容器からさらに深い PVC 容器に移植された長根苗は、通常深さのコンテナ苗よりも土壌深部への根の発達が早いことが示されている(Chirino et al., 2008; De La Fuente et al., 2017)。

ミャンマー等の熱帯乾燥地での従来の植林方法は、①厳しい乾季前に根系発達を促すために、植栽に際して深く大きな穴を掘り、また②乾季になると数回に渡り灌水を行うため、植栽コストが高くなりがちである。また、③植栽時期が雨季初期に限られているため、農繁期と植栽のタイミングが重なりやすいという課題もある。長根苗の活用によって植栽後の土壌深部への素早い根系発達を促し、苗木を確実に活着させることができれば、上記①~③の課題解決になると考えた。

ただし、これまでの長根苗の研究は温帯の乾燥地樹種に限られており、熱帯乾燥林の樹種では試されてこなかった。さらに、従来の長根苗の育苗容器には、大型ポットや PVC 管等が用いられ、容器から苗を取り出す際に根を傷めやすい等の欠点があった。また、市販の大型のコンテナ苗用セルは高価で、サイズが固定されているため、熱帯途上国では普及しづらいことが予想される。

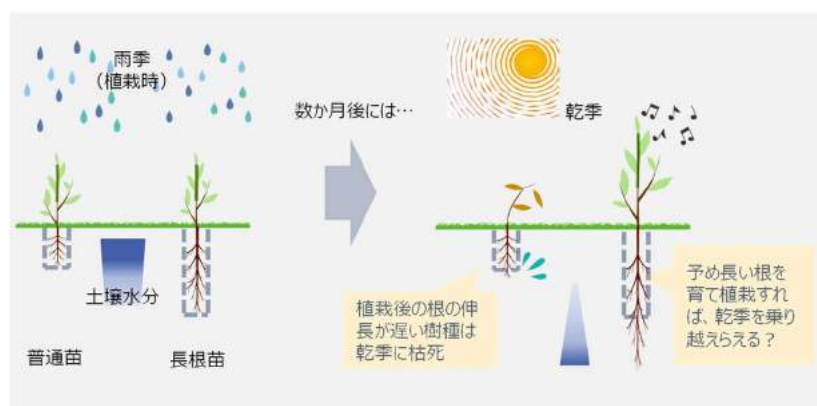


図 3-1 長根苗による土壌深部への根系発達の促進(イメージ)

3.2 本試験の目的

長根苗の活用を、乾燥地における造林コストと労力の削減に加え、気候変動適応という観点からも有用な造林技術の一つとしてとらえ、それを熱帯途上国で普及すべく技術開発を目指した。さらに本試験では、従来の長根苗の育苗容器の課題を解決すべく、三樹 (2010)により開発された M-StAR (Multi-Stage Adjustable Rolled)コンテナ容器を用いて、長根苗の育苗・植栽を試みた。

2017～2020 年度まではミャンマーの中央乾燥地にて、育苗試験や植栽試験を行い、長根苗の育苗方法や植栽時の効果等を検討してきた。2021 年度は、長根苗技術を他の熱帯乾燥地域に展開するため、ケニア半乾燥地にて育苗試験①～③を行った。育苗試験①では、ケニア半乾燥地造林樹種 25 樹種で、長根苗を育成できる樹種をスクリーニングした。育苗試験②では 3 樹種について、長根苗用のコンテナ深さが苗木の成長にどのような影響を及ぼすかを明らかにした。育苗試験③では、②と同じ 3 樹種で、長根苗コンテナの培地にかかるコストを下げるべく、もみ殻燐炭をコナツツピート培地の「かさまし」材として使えないか検討した。各試験の目的は表 3-1 の通りである。

表 3-1 長根苗技術開発のための各試験の目的

		目的	詳細記載
ミ ヤ ン マ ー	育苗試験①	長根苗の育苗方法や育苗期間の解明	H30 報告書
		乾燥林樹種の根の特徴（垂直成長、直根）の解明	R2 報告書
	植栽試験①	雨季植栽における、長根苗による生残効果がある樹種の特定	R1,2 報告書
	育苗試験①	通常コンテナ苗と長根苗の育苗期間や根の形態の比較検討	R2 報告書
ケ ニ ア	植栽試験②	乾季植栽における、長根苗及び他の低コストで生残率向上の効果がある植栽方法（深植え等）の可能性の検討	R1,2 報告書
	育苗試験①	長根苗の育成可能な樹種を 25 樹種からスクリーニング	本報告書
	育苗試験②	長根苗用のコンテナの深さが苗木成長に与える影響評価	本報告書
	育苗試験③	長根苗用の培地の「かさまし」材としてのもみ殻燐炭の可能性評価	本報告書

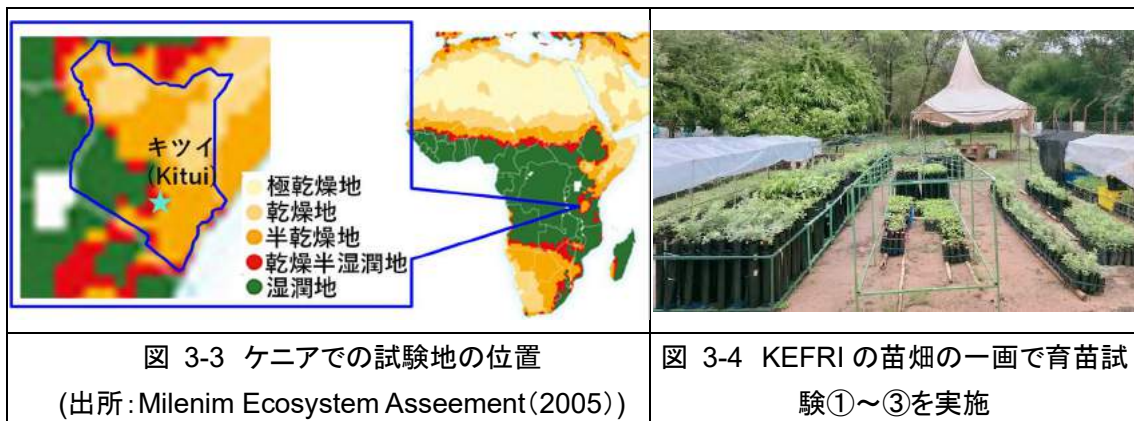


図 3-2 ケニアでの長根苗技術開発のための育苗試験①～③

3.3 試験地の概要

3.3.1 試験地

ケニアのキツイ郡にあるケニア森林研究所(KEFRI)の苗畑で試験を行った(図 3-3)。



3.3.2 ケニア半乾燥地(キツイ)の気象条件

キツイは、年間降水量が 900mm 前後で UNDP の定義では半乾燥地に分類される。雨季と乾季が明瞭に分かれ、6 月から 9 月の 4 ヶ月は雨がほとんど降らない乾季である(図 3-5)。

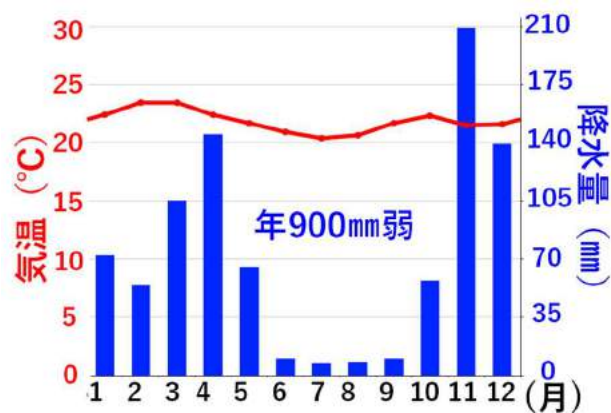


図 3-5 試験地(キツイ)の気温と降水量(出所: Climate-data.org)

3.3.3 ケニア半乾燥地での植林活動の現状と課題

ケニアの国家森林計画(National forest programme 2016-2030)には、政策目標として植林等により2030年までに森林率を2010年の7%から10%に上げるとある。しかし、ケニア森林局(KEFRI)によると、ケニア半乾燥地では雨季が短く、さらに降水が不規則なため、植栽時期が限られ、植林のタイミングを逸してしまうことが多く植林が進まないとのことであった。また、Magaju et al. (2020)によると、半乾燥地に植えられた計 17,520 本の植栽木の生残率は図 3-6 の通りで、*Calliandra calothyrsus*(カリアンドラ)以外は 50%前後の低い生残率であり、マルチや灌水だけでは不十分であることが示唆される。ケニアではビニルポット苗が主流であり、コンテナ苗は普及していない。

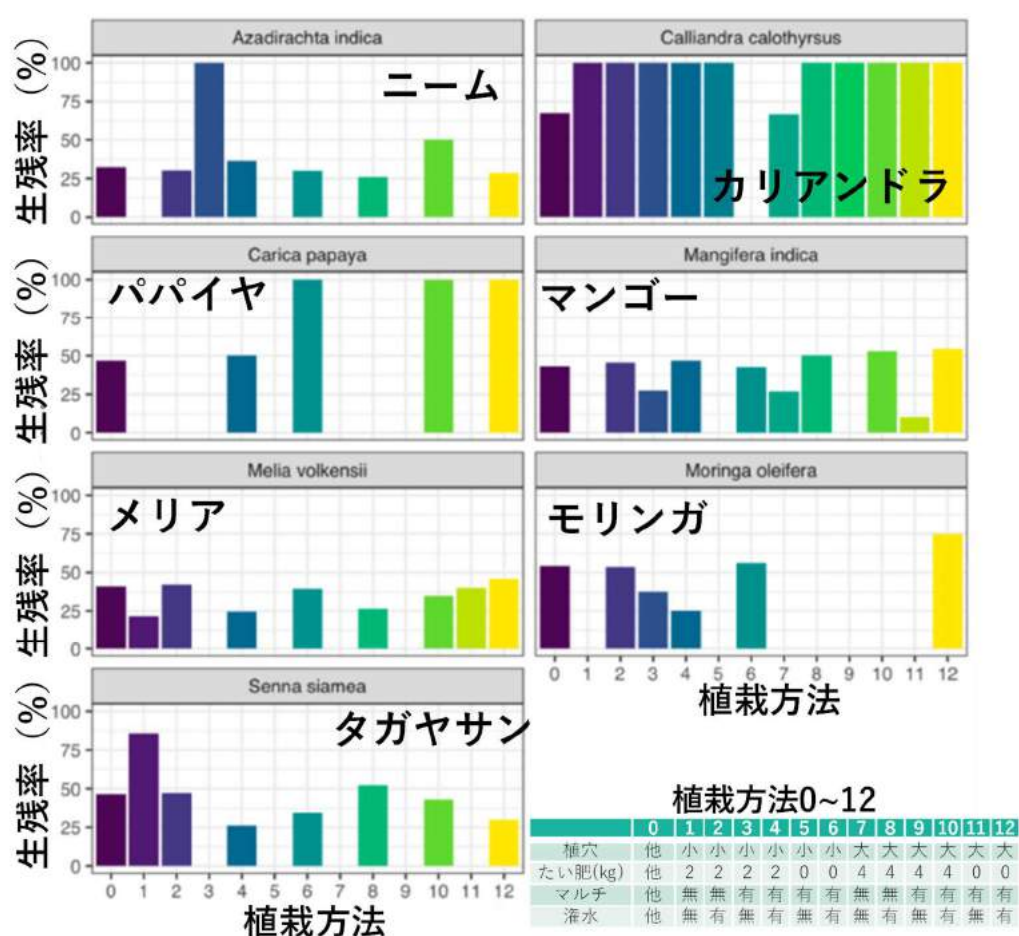


図 3-6 ケニア半乾燥地での異なる植林方法での各樹種の生残率(Magaju et al.(2020))

3.4 試験の方法

3.4.1 本試験で工夫した点

長根苗自体は、既存の技術であり地中海地方の樹種を中心に検討されてきた。本試験では長根苗技術を熱帯途上国でより普及しやすいものにするため、長根苗用の容器、培地、育苗棚、植栽穴を図 3-7 の通り工夫した。



図 3-7 長根苗技術をより実用的なものにするための 4 つの工夫

前述の通り、長根苗は育苗容器からの取り出しの際に根を損傷してしまうことが大きな課題となっている。そこで、本試験では、三樹 (2010)により開発された M-STAR を用いた。M-StAR はポリエチレン製の梱包用の緩衝シート Apton®(四国化工)を筒状に丸めてセルコンテナにしたものである。通常の M-StAR の深さは 15cm 程度だが、その深さと径は、目的や樹種に合わせて緩衝シートを適当な深さに裁断することで調整でき、かつシートを筒状に巻いた空間の中に培地を入れて育苗するので、どんなに容器を深くしても巻かれた緩衝シートを展開するだけで簡単に苗を取り出すことができる。側面には縦方向のリブがあることで、根が巻くことなく底部に誘導されると同時に、底部は解放されているため、底部に到達した根はそこで伸長が停止し(空中根切り)、植栽後の根伸長がスムーズに再開される。

M-STAR のシートは約 50~60 円/枚(深さ 60cm の長根苗用の場合)とビニルポッドに比べると高価だが、10 回以上使用できる利点がある。さらに、通常のコンテナ苗のようにマルチキャビティの金型を作成する必要がない。Air-pot®も M-StAR と似たような構造だが、M-StAR の方が安価でかつ、シンプルでかさばらず(厚さ 4-mm)、軽量(350 g/m²)であり、熱帯林乾燥林が分布する開発途上国でも森林再生のツールとしての普及が期待できる。



図 3-8 長根苗用の M-StAR コンテナを設計

3.4.2 育苗試験①(25 樹種長根苗スクリーニング)の方法

(1) 試験対象樹種

長根苗が育成できる樹種をスクリーニングするにあたって、ケニア半乾燥地の造林樹種 25 樹種を選定した(表 3-2)。選定にあたっては、様々なタイプ(落葉／常緑、マメ科／非マメ科、速い成長速度／遅い成長速度)の樹種を選定した。

表 3-2 育苗試験①(長根苗が育成できる樹種のスクリーニング)の対象 25 樹種

学名	略称	落葉	マメ科	成長(伐期)	育苗試験②、③
<i>Acacia polyacantha</i> ※	Ac.pol	落葉	マメ科	早い(短い)	非対象
<i>Acacia senegal</i> ※	Ac.sen	落葉	マメ科	早い(短い)	非対象
<i>Acacia seyal</i> ※	Ac.sey	常緑	マメ科	早い(短い)	非対象
<i>Acacia tortilis</i> ※	Ac.tor	常緑	マメ科	中庸(短い)	対象
<i>Azadirachta indica</i>	Az.ind	半常緑	非マメ科	早い(短い)	非対象
<i>Balanites aegyptiaca</i>	Ba.aeg	常緑	非マメ科	早い(短い)	非対象
<i>Casuarina equisetifolia</i>	Ca.equ	常緑	非マメ科	早い(短い)	非対象
<i>Croton megalocarpus</i>	Cr.meg	落葉	非マメ科	中庸(短い)	非対象
<i>Dalbergia melanoxylon</i>	Da.mel	落葉	マメ科	遅い(長い)	対象
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Eu.cam	常緑	非マメ科	早い(短い)	非対象
<i>Faidherbia albida</i>	Fa.alb	落葉	マメ科	早い(短い)	非対象
<i>Gmelina arborea</i>	Gm.arb	落葉	非マメ科	早い(短い)	非対象
<i>Kigelia africana</i>	Ki.lut	半常緑	非マメ科	中庸(短い)	非対象
<i>Markhamia lutea</i>	Ma.lut	常緑	非マメ科	早い(短い)	非対象
<i>Melia volkensii</i>	Me.vol	落葉	非マメ科	早い(短い)	対象
<i>Moringa oleifera</i>	Mo.ole	落葉	非マメ科	早い(短い)	非対象
<i>Osyris lanceolata</i>	Oy.lan	常緑	非マメ科	遅い(長い)	非対象
<i>Sclerocarya birrea</i>	Sc.bir	落葉	非マメ科	中庸(短い)	非対象
<i>Senna siamea</i>	Se.sia	常緑	マメ科	早い(短い)	非対象
<i>Senna spectabilis</i>	Se.spe	半常緑	マメ科	早い(短い)	非対象
<i>Tamarindus indica</i>	Ta.ind	半常緑	マメ科	遅い(長い)	非対象
<i>Terminalia brownie</i>	Te.bro	落葉	非マメ科	中庸(短い)	非対象
<i>Terminalia spinosa</i>	Te.spi	落葉	非マメ科	早い(短い)	非対象
<i>Vitex payson</i>	Vi.pay	落葉	非マメ科	中庸(短い)	非対象
<i>Ziziphus mauritiana</i>	Zi.mau	常緑	非マメ科	中庸(短い)	非対象

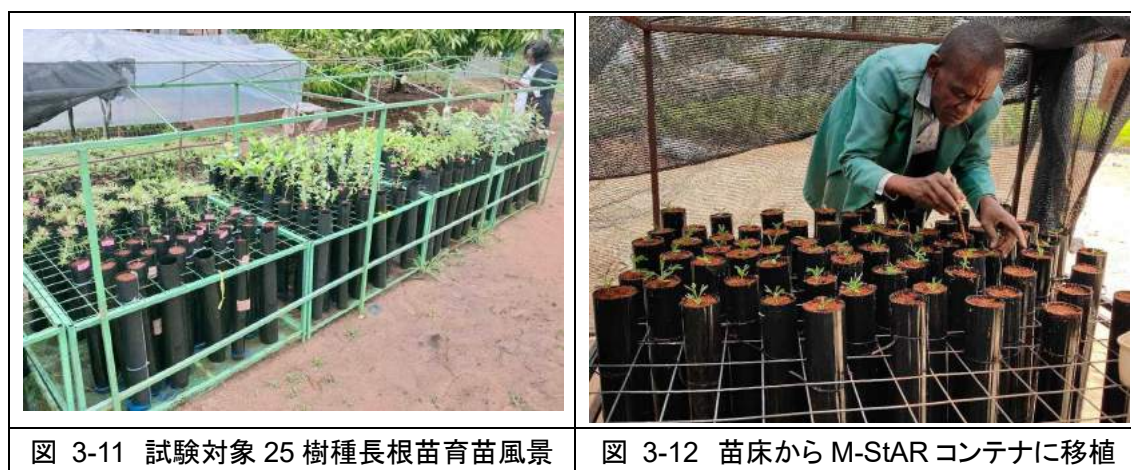
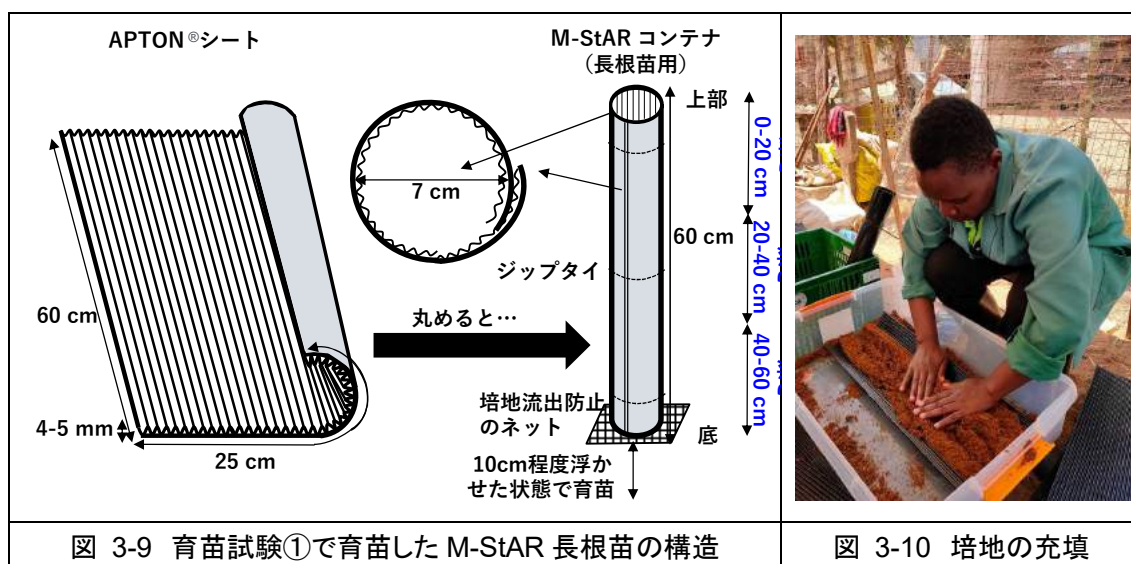
※:現在の分類では *Acacia* 属ではなく、*Senegalia senegal*, *Senegalia polyacantha*, *Vachellia seyal*, *Vachellia tortilis* と呼ばれるが、ケニアでは *Acacia* と呼んでいるのでここでは *Acacia* とした。

(2) 育苗条件

本試験の長根苗育苗に用いる M-StAR コンテナは、Apton シートを深さ 60cm、径 7cm、容量 2,300cc になるようにセルフカットして作成した(図 3-9)。コンテナ底には育苗中の培地の流亡を防ぐために 10cm 四方メッシュのネットを被せた。また、コンテナの上中下部の 3 か所にジップタイをまき、育苗期間中にロールが緩まないようにした。コンテナ苗は空中根切りができるように、木製ラックに立てかけて育てた。

ココナツツピート(coir dust) は EC が 50 mS/m 以下になっていることを確認し、風乾した後、M-StAR コンテナに 0.07~0.08 g/cc になる程度に充填した。ココナツツピートには遅効性肥料(Osmocote exact, N-P-K: 15-9-12; 5-6 か月) を均一に 5 g/L 混ぜた。

試験対象 25 樹種を砂の苗床に播種し発芽させ、本葉が出た後 M-StAR コンテナに移植した(全樹種同じタイミングで 36 本以上/樹種を移植)。毎日いくつかのコンテナを持ち上げて重量を図ることで水分量をチェックし、コンテナ内の水分が半分以下になっていたら圃場容水量分灌水した(2~3 回/週)。



(3) 長根苗の評価の方法、データ入手方法

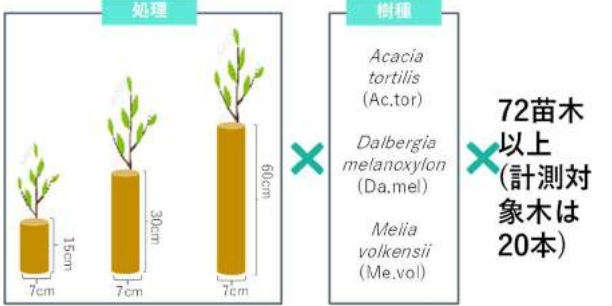
長根苗が育成できる樹種のスクリーニングにあたっては、どの程度の育苗期間で、①根がコンテナ底まで到達するか、②根鉢形成がされるかと、③地上部(地際径、苗高)がどのように成長するかによって、25 樹種の長根苗を評価した。そのため、移植後、約 1 か月おきに地際径と苗高、約 2 か月おきに、根の到達深度と根鉢硬さを測定した。

根鉢硬さは根鉢形成の指標になり得ることが報告されている(斎藤他, 2019)。本試験では、育苗 2 か月目と 5 か月目でサンプルした苗木の根鉢表面に、デジタルフォースゲージ(IMADA,Japan)の針(径 mm、高さ mm の円錐)を深さ 10mm だけ垂直に埋没させた際の負荷量(g) (根鉢表面の硬さ(Resistance))を計測した(図 3-20)。3 深度(0-20cm、20-40cm、40-60cm)で輪切りされた各セクションの根鉢の表面全体に満遍なく 7 点の根鉢表面の硬さを計測し、その中央値を対象根鉢セクションの根鉢表面の硬さの代表値として、データ分析に使用した。根鉢表面の硬さに加え、コンテナから取り出した根鉢の崩れにくさ(Firmness)を以下の基準に従い判定した。「1.崩れる(Fragile):コンテナから取り出す際に簡単に崩れる」、「2.柔らかい(Soft):握ったときに少し崩れる」、「3.崩れない(Firm):握っても崩れず、そのまま持ち運び可能」、「4.硬い(Hard):強く握ってもかけても崩れない」。「3.崩れない」や「4.硬い」であれば、移送や植栽時に崩れず、作業に支障はないので、この状態を「根鉢形成された」とみなした。樹種や根鉢深度を区別せずに 4 段階で評価した各崩れにくさ評価に対応する根鉢表面の硬さのヒストグラムを重ね合わせた。各評価のヒストグラムから算出されるカーネル密度曲線のピーク時の根鉢表面の硬さを算定した。また、隣り合う評価のカーネル密度曲線の交点の根鉢表面の硬さをその評価間の閾値とみなした。

3.4.3 育苗試験②(コンテナの深さが苗木成長に与える影響評価)の方法

試験対象樹種、試験設計、育苗条件、データ入手方法

育苗試験②は苗木成長に対するコンテナ深さが苗木成長に与える影響を評価するため、3 深度の M-StAR コンテナで 3 樹種を育苗した(図 3-13)。育苗条件は育苗試験①と同様だが、深さ 15cm、30cm の M-StAR 苗はプラスチックトレイ枠で育苗した。育苗して 5 か月経過時点の地際径と苗高を計測した。

	
図 3-13 育苗試験②(コンテナの深さが苗木成長に与える影響評価)の試験設計	図 3-14 深さ 15cm、30cm の M-StAR 苗はプラスチックトレイ枠で育苗

3.4.4 育苗試験③(苗木成長に対するもみ殻燐炭混合の影響)の方法

試験対象樹種、試験設計、育苗条件、データ入手方法

長根苗コンテナは大容量のため育苗コストのうち培地コストの占める割合が高い。ケニアでは、ココナツピートに比べ、もみ殻燐炭のほうが入手が容易で、体積あたりの価格が安い(図 3-15、図 3-16)、ココナツピートにもみ殻燐炭を混ぜる割合が高くなるほど、培地コストを安く抑えることができる。そこで、もみ殻燐炭をココナツピート培地の「かさまし」材として使えないか検討すべく、どの程度の割合までもみ殻燐炭を混ぜても成長が阻害されないかを試験した。図 3-17 の通り、深さ 30cm の M-StAR コンテナにココナツピートともみ殻燐炭を異なる混合比で(0、25、50、75、100% v/v)混ぜた培地を充填し、3 樹種を育苗した。培地以外の育苗条件は育苗試験①、②と同様である。育苗して 5 か月経過時点の地際径と苗高を計測した。



図 3-15 もみ殻燐炭製造の様子(現地では 300 円/20 kgでココナツピートの 1/3~1/6 の値段)



図 3-16 ココナツピートともみ殻燐炭を 5 段階の混合比にした培地で育苗

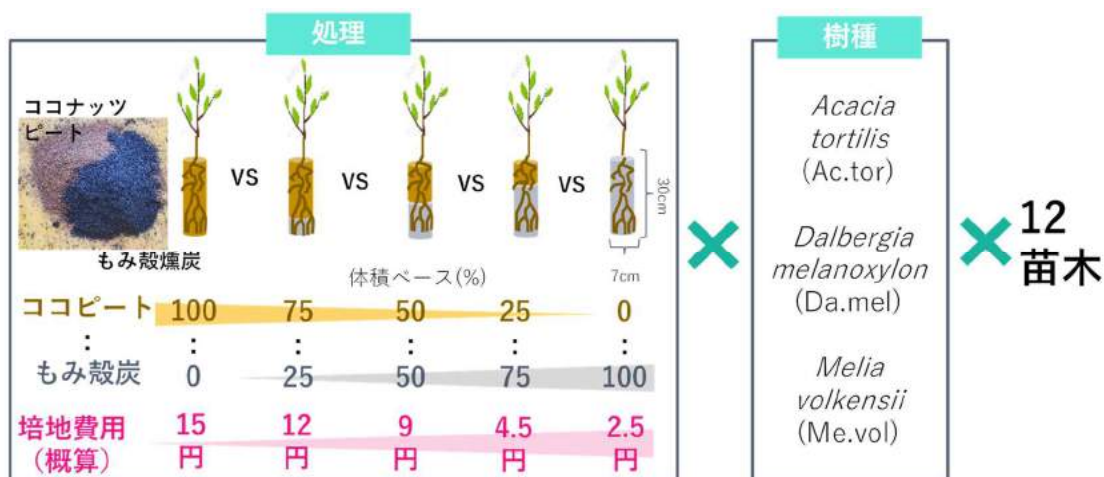


図 3-17 育苗試験③(苗木成長に対するもみ殻燐炭混合の影響)の試験設計