

3.5 試験結果

3.5.1 育苗試験①(25 樹種長根苗スクリーニング)の結果

(1) 育苗 5 か月経過時点の長根苗の成長(樹高、地際径、根の到達深度)

育苗 5 か月経過時点の対象 25 樹種の長根苗の苗高、地際径、根の到達深度は、図 3-18 の通りである。地際径については Os.lan 以外は 4mm 以上に成長し、Eu.cam、Gm.arb、Me.vol、Mo.ole、Sc.bir、Ac.pol は 10mm 程度まで成長していた。苗高は Eu.cam が一番高く 100cm 超であったのに対し、Az.ind や Os.lan は 10cm 程度でほとんど成長していない。根の到達深度は Az.ind と Os.lan 以外の 23 樹種は深さ 40cm 以上まで到達し、そのうち 12 樹種(Ba.aeg, Ca.equ, Eu.cam, Cr.meg, Te.bro, Vi.pay, Se.sia, Ta.ind, Ac.pol, Ac.sen, Fa.alb, Da.mel)は、コンテナ底まで完全に到達した。

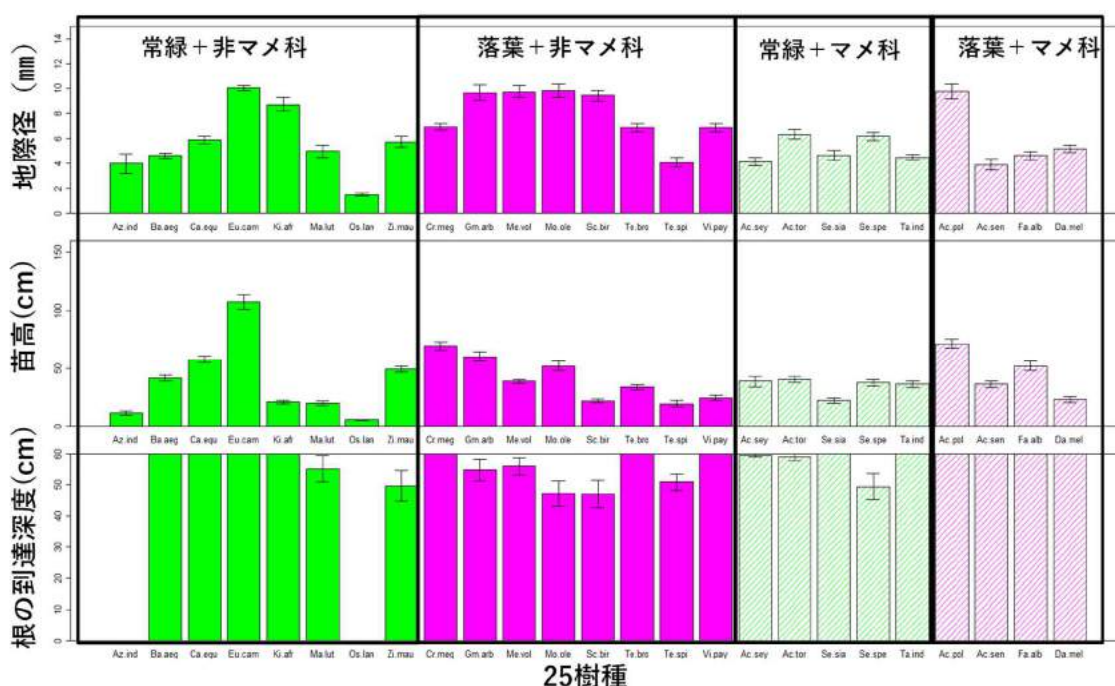


図 3-18 育苗 5 か月経過時点の地際径、苗高、根の到達深度(バーは標準誤差、n=8 以上(地際径、苗高)、n=7(根の到達深度)、Az.ind と Os.lan の根の到達深度は未計測)

(2) 育苗 5 か月経過時点の根鉢硬さ

根鉢表面の硬さの計測値のヒストグラムは、図 3-19 の通り、根鉢形成の 4 段階評価(崩れる、柔らかい、崩れない、硬い) 毎にある程度まとまってグルーピングされた(「硬い」の基準も設けたが育苗 5 か月経過時点ではそれに該当する根鉢はなかった)。根鉢形成の 4 段階評価毎の根鉢表面の硬さの計測値の頻度分布(ヒストグラム)から作成したカーネル密度推定のピークは、定性的な根鉢形成評価によく対応し(図 3-19 参照)、根鉢硬さの測定値により根鉢形成を定量的に評価できることが分かった。「柔らかい」と「崩れない」のカーネル密度が同値になる(曲線が交差する)時の根鉢表面の硬さは 535g 程度であり、それを「柔らかい」と「崩れない」の間の閾値とみなした。

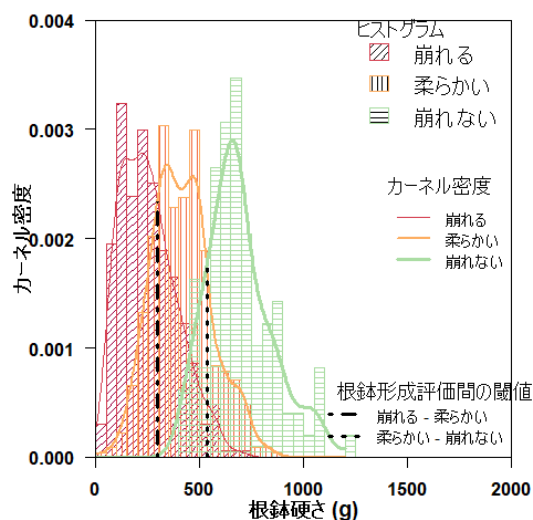


図 3-19 根鉢形成評価毎の根鉢硬さのヒストグラム

図 3-20 根鉢硬さの測定の様子

育苗 5 か月経過時点での各樹種の根鉢表面の硬さの値は、図 3-21 の通りである。Eu.cam や Ac.pol は全 3 深度で根鉢硬さは「崩れない」の閾値を超えており、5 か月の育苗期間ですでに植栽可能な程度に根鉢形成がされていた。Se.spe や Ca.equ を除いてほとんどの樹種が、深さ 20-40cm よりも深さ 40-60cm の根鉢硬さが高い傾向がみられた。これは、根は 40-60cm のところで分岐を増やし細根がよく発達しているが、深さ 20-40cm のところは細根が少ないのが原因であると考えられた。さらに育苗を続けることで(育苗期間 5 か月以上)、深さ 20-40cm のところの根鉢硬さが固くなるかどうかは、今後もモニタリングしていく必要がある。

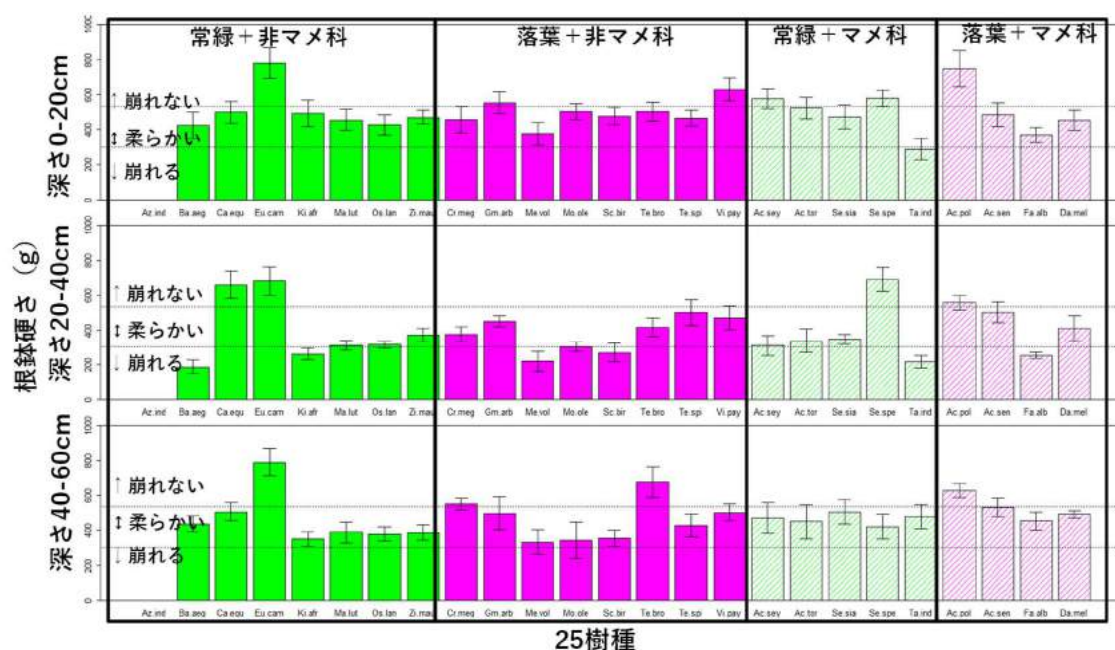
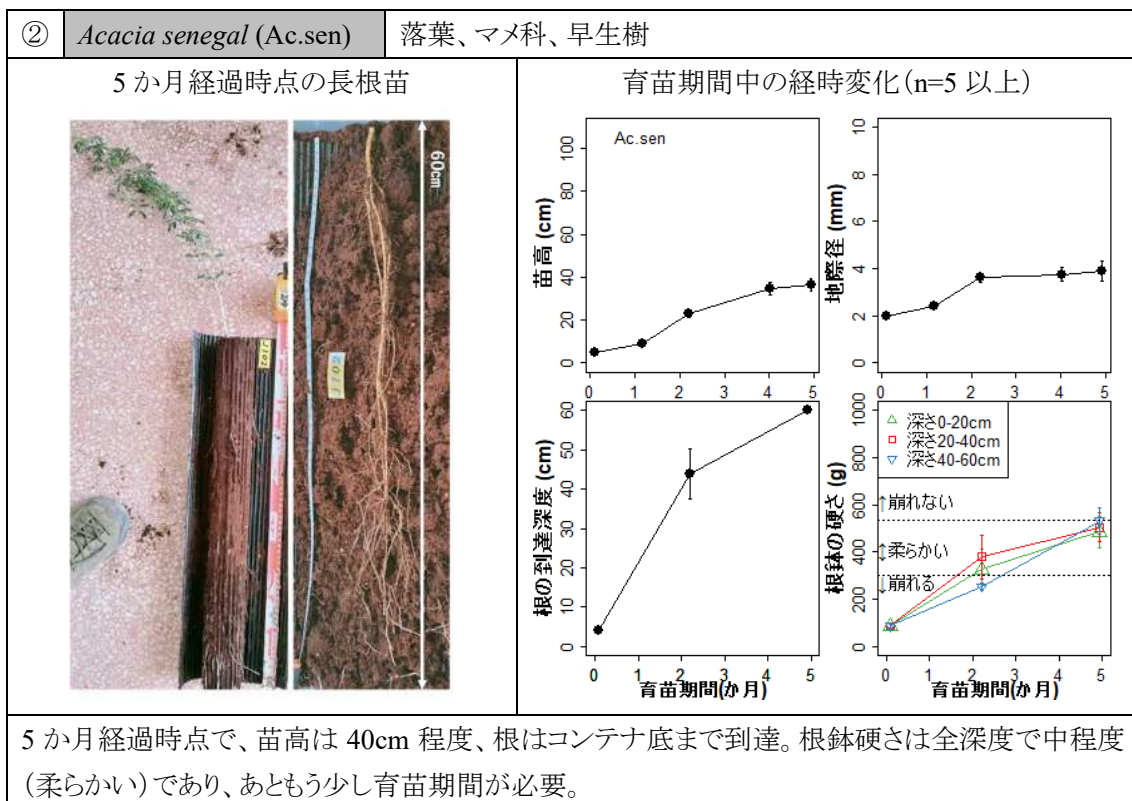
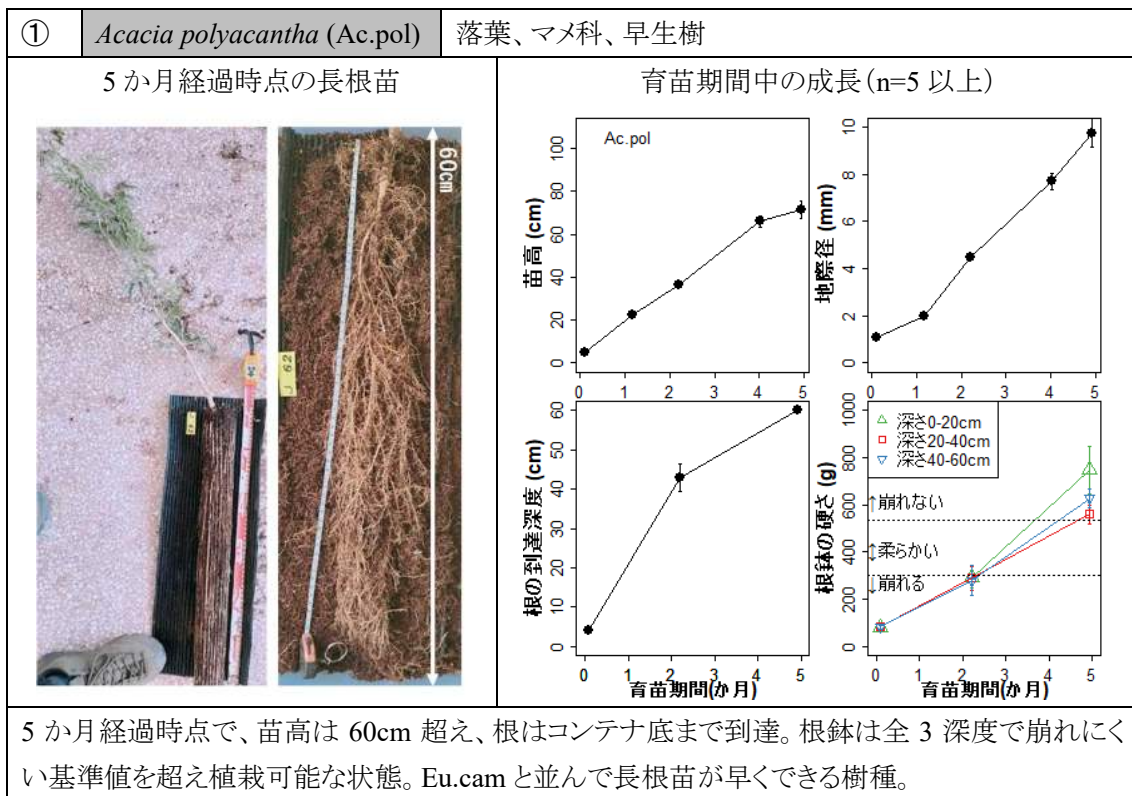


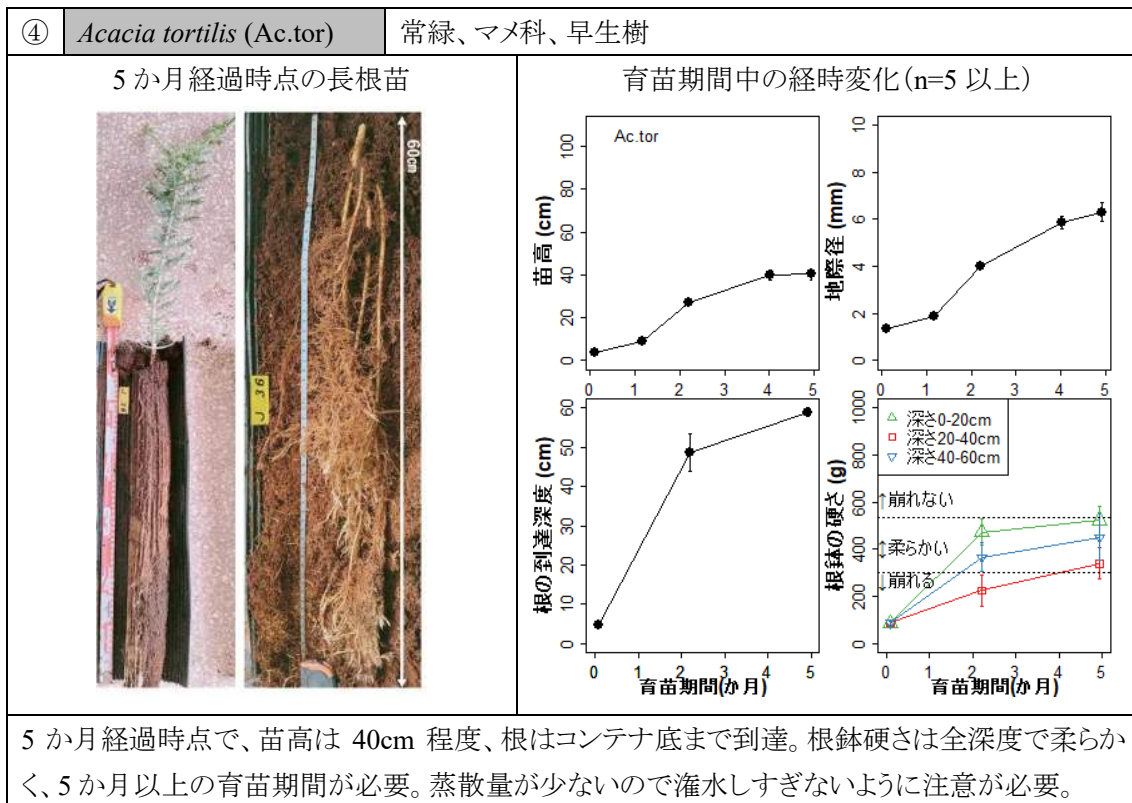
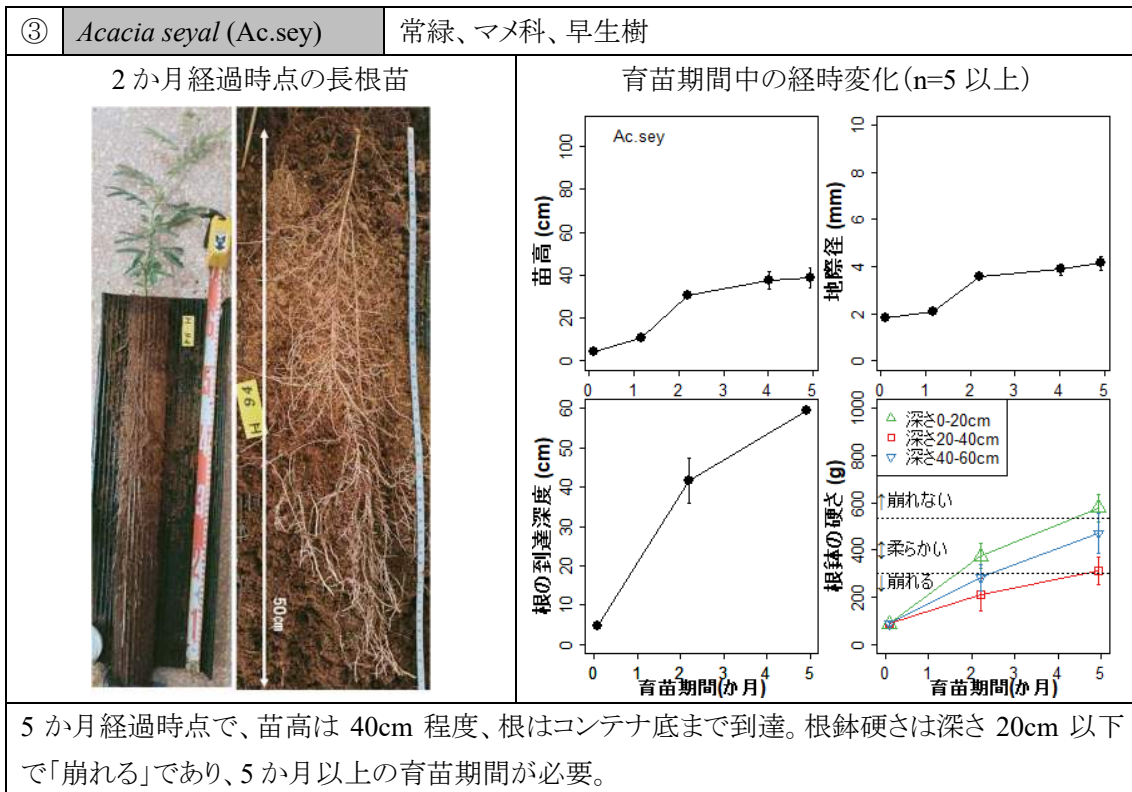
図 3-21 育苗 5 か月経過時点の根鉢表面の硬さ(バーは標準誤差、n=7、Az.ind は未計測)

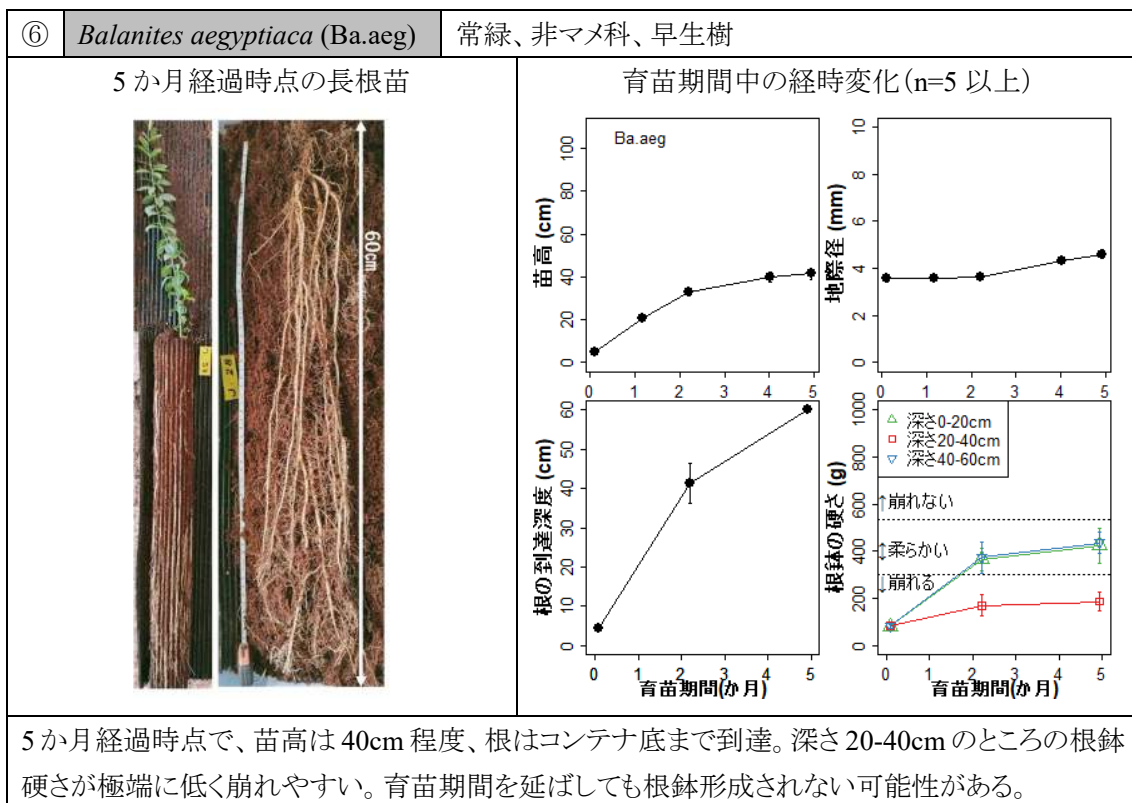
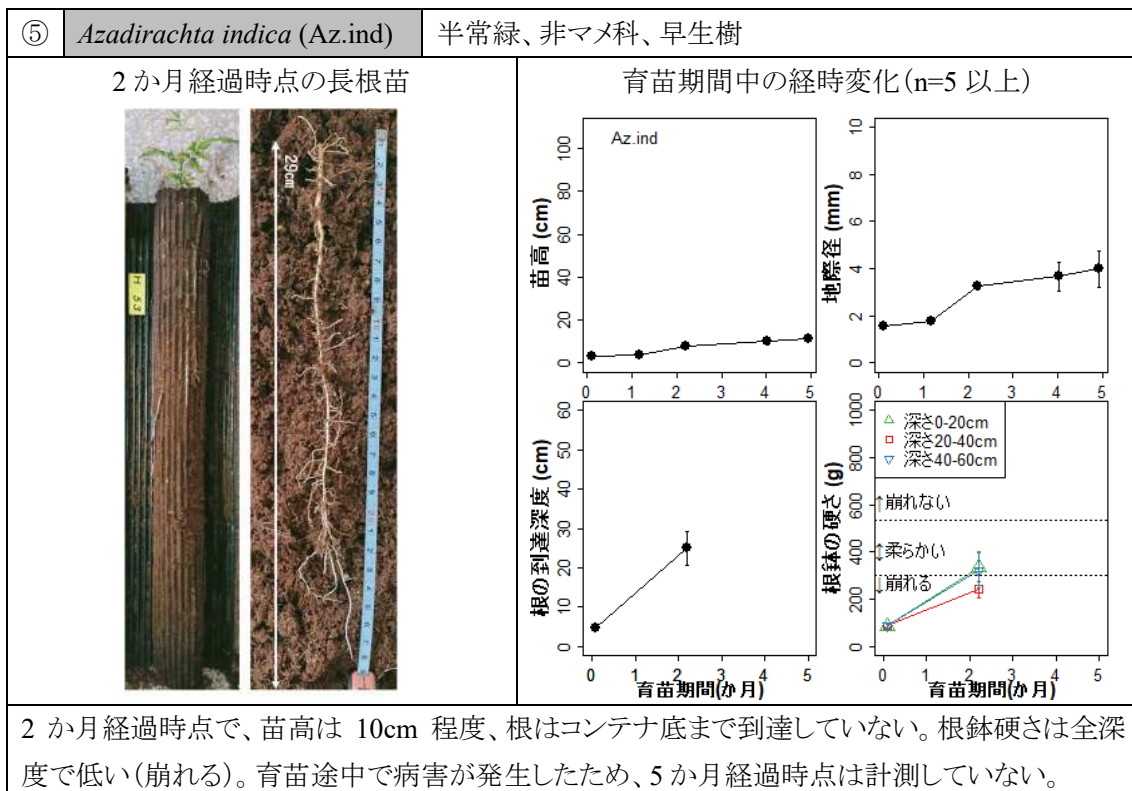
(3) 25 樹種の長根苗の成長(地際径、苗高、根の到達深度、根鉢硬さ)の経時変化

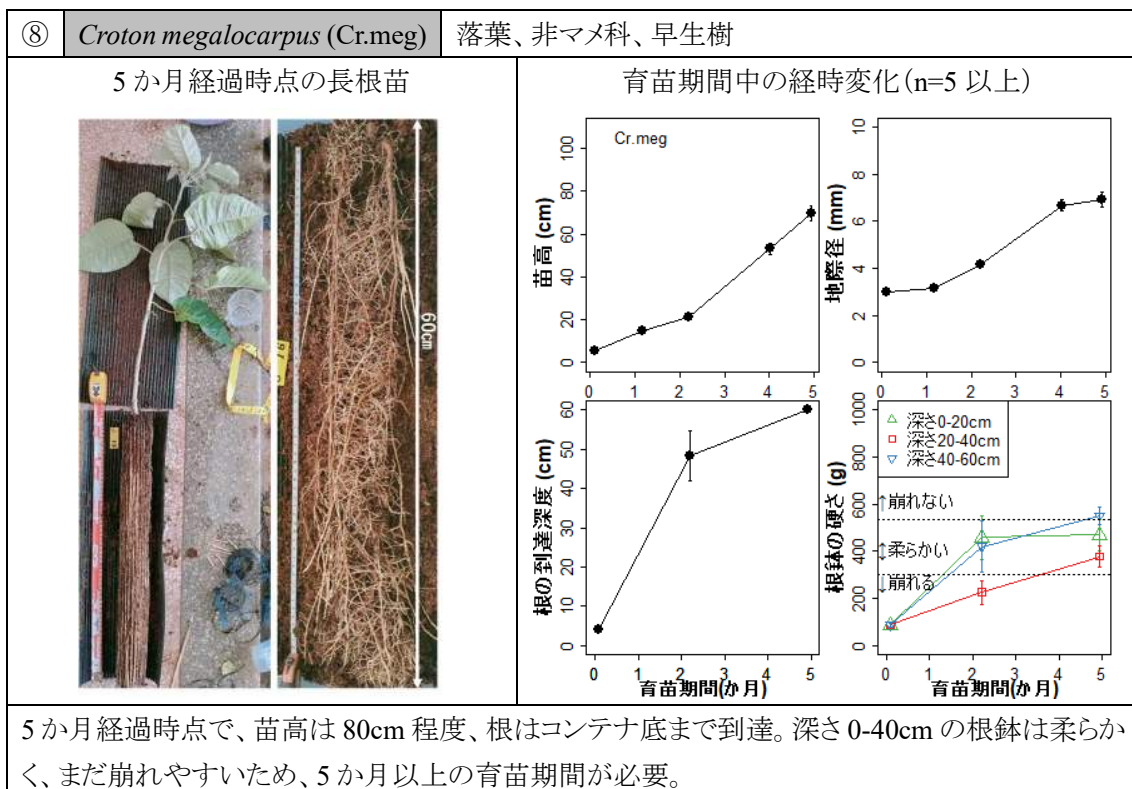
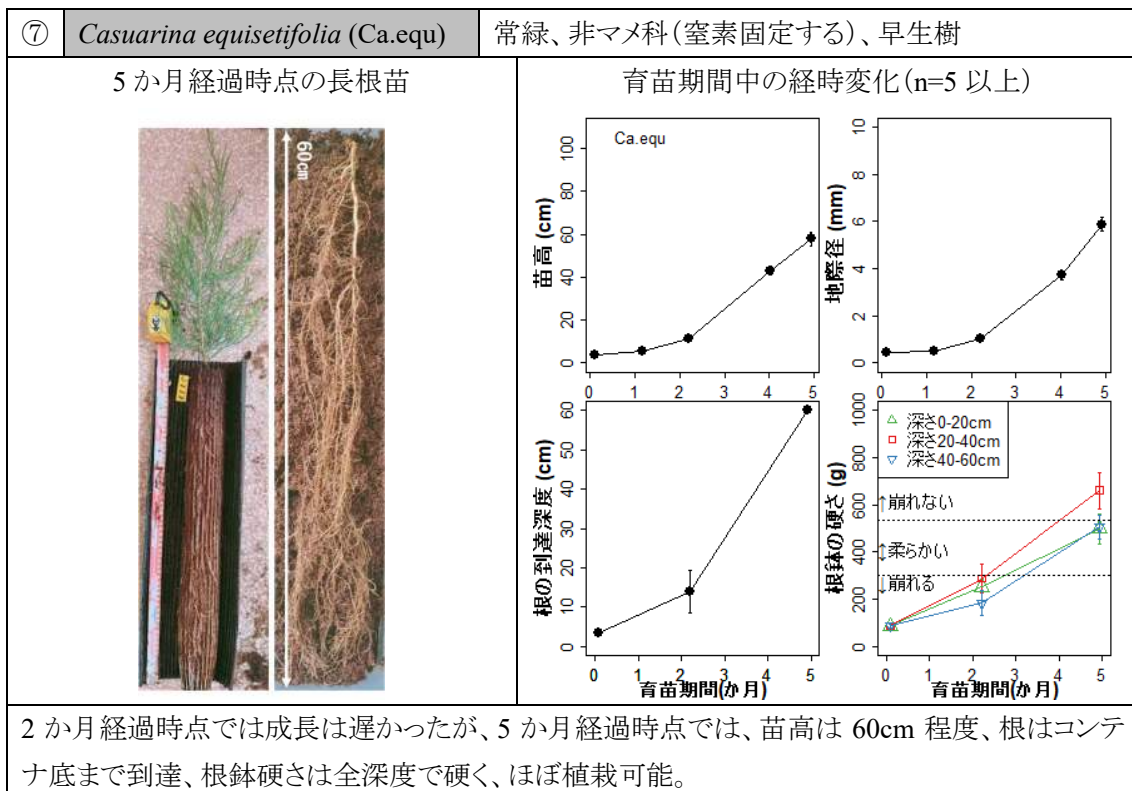
育苗した 25 樹種の長根苗について、5 か月間の成長の経時変化を樹種ごとに整理したものが、以下①～⑤である。

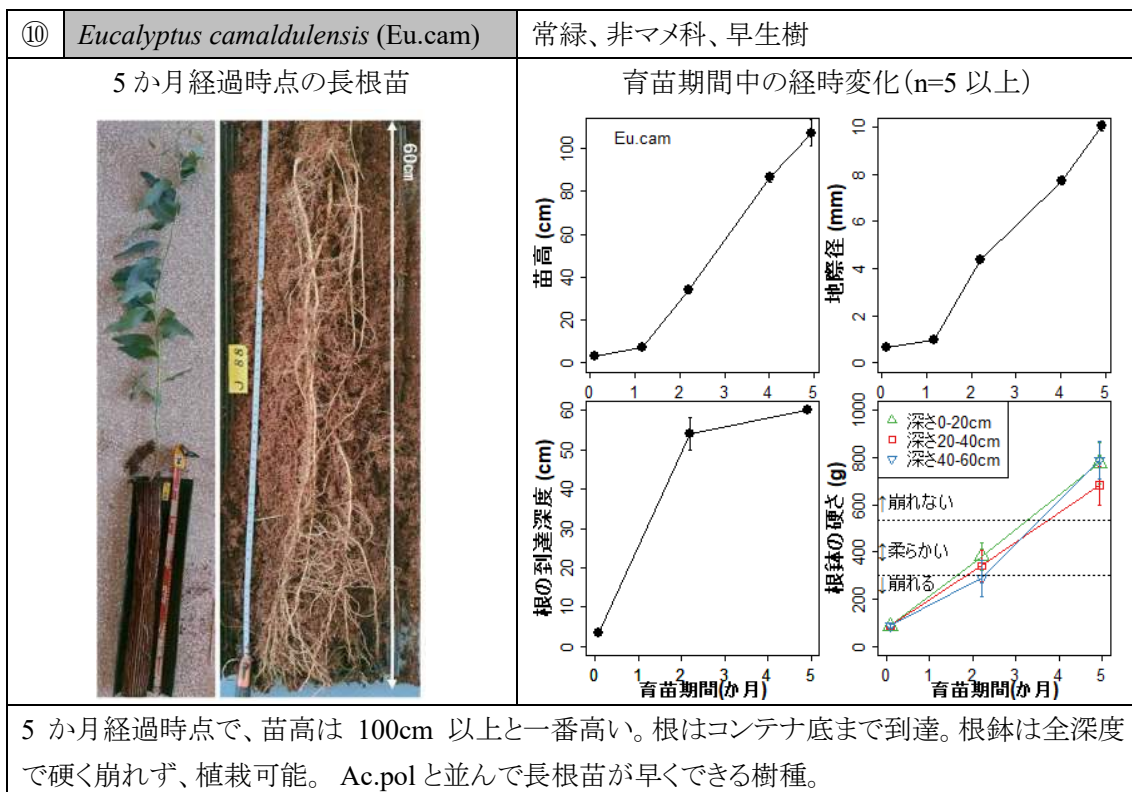
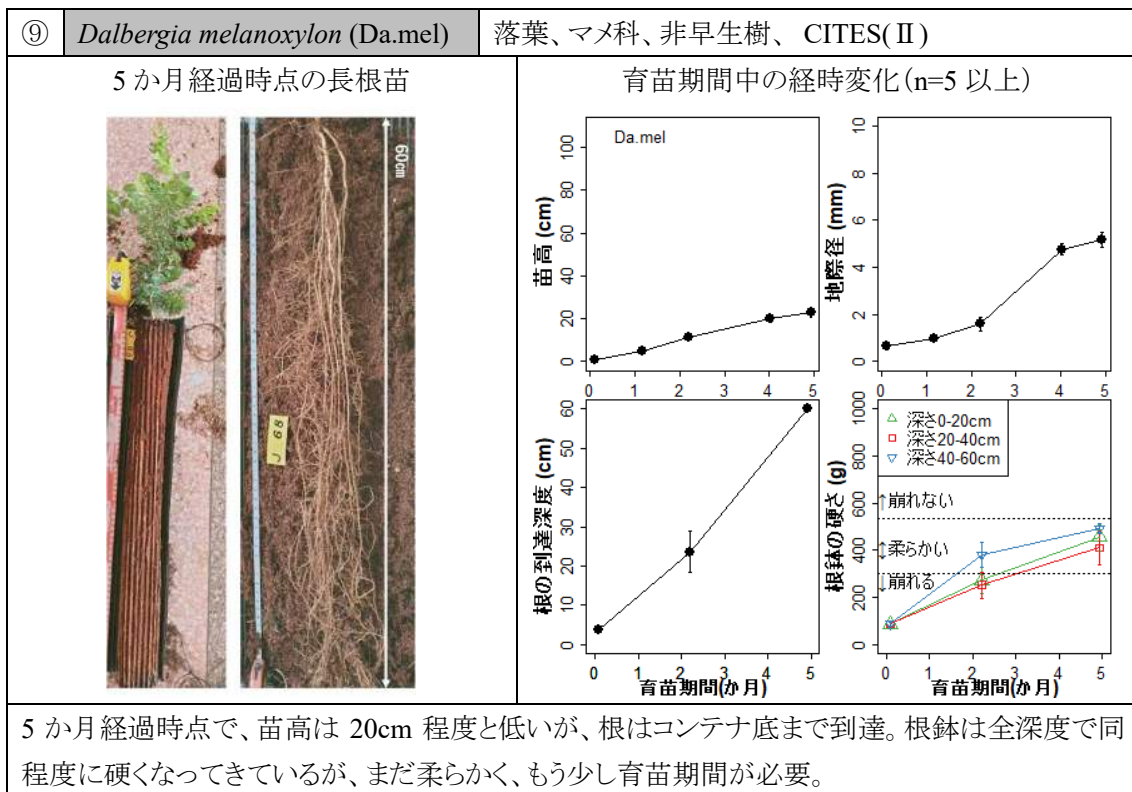
成長の速度は異なるが、Az.ind と Os.lan 以外の 23 樹種は育苗が進むにつて、地上部は大きくなり、根が下に伸長し、根鉢も硬くなっていった。Az.ind はミャンマーでは問題なく生育したが(R2 報告書参照)、ケニアでは育苗中に病害のためほとんどが枯死した。Os.lan は寄生植物であり、宿主木の *Sedum reflexum* は順調に生育したが、Os.lan はほとんど成長しなかった。

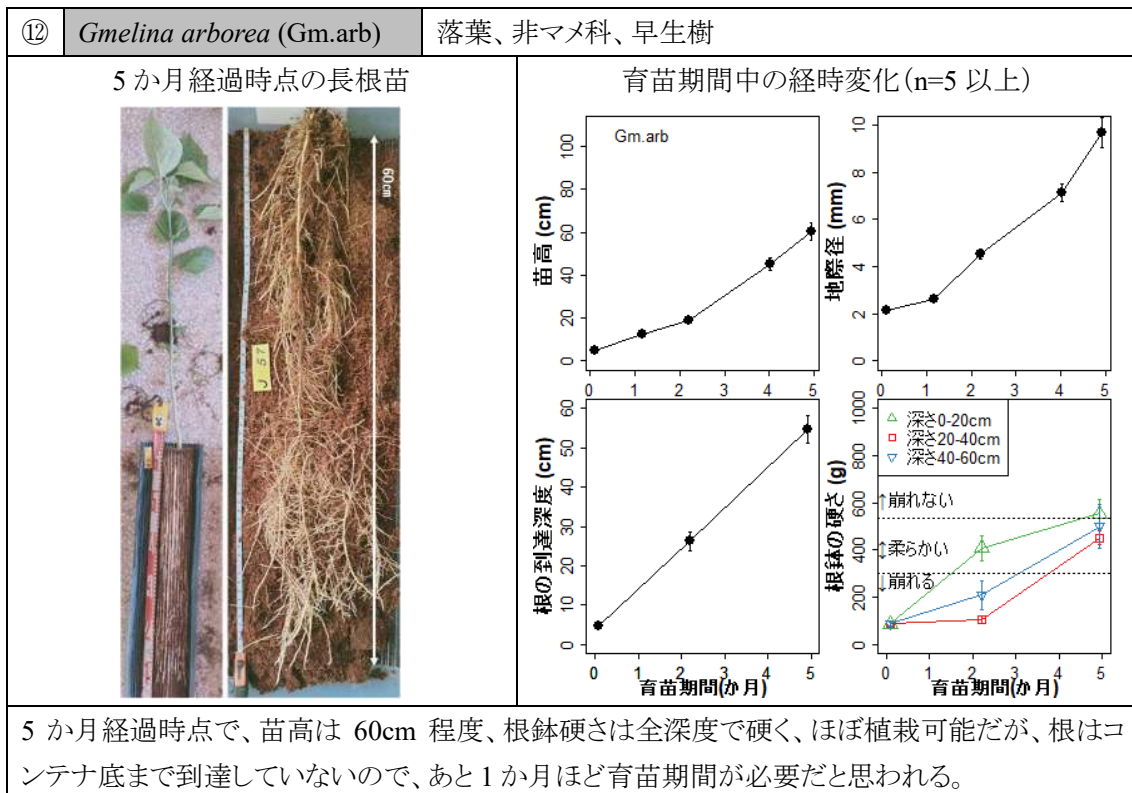
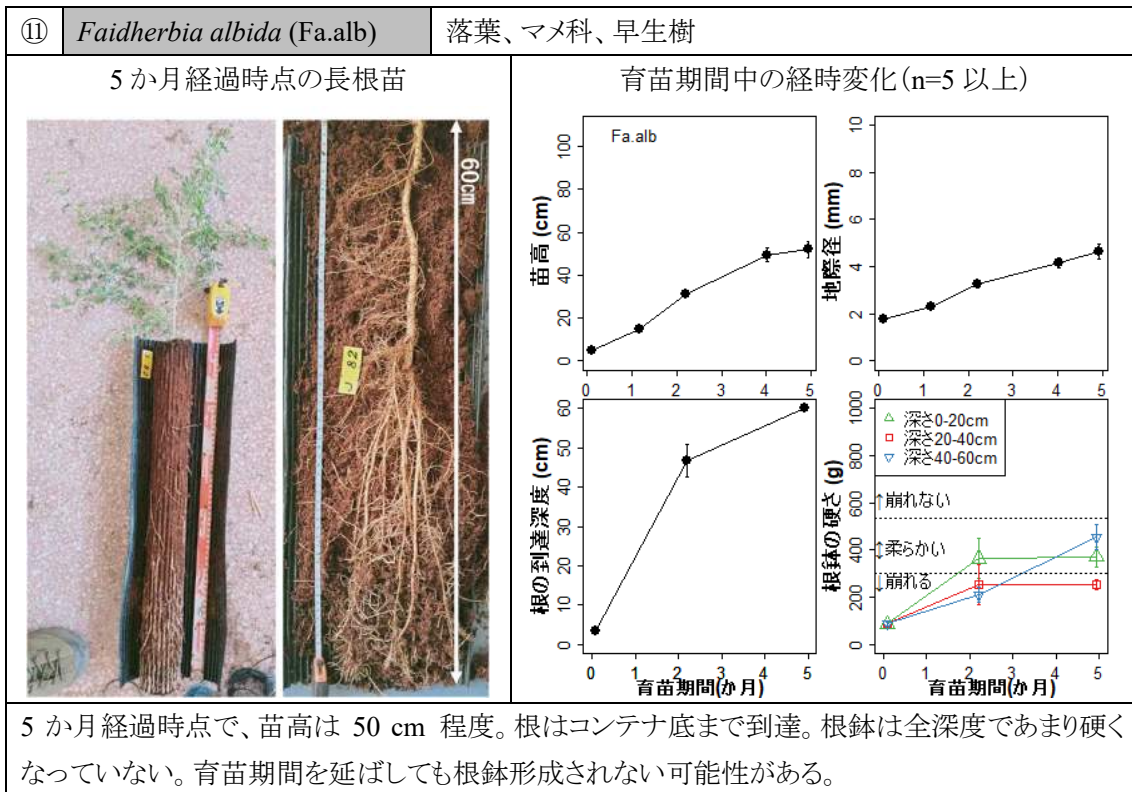


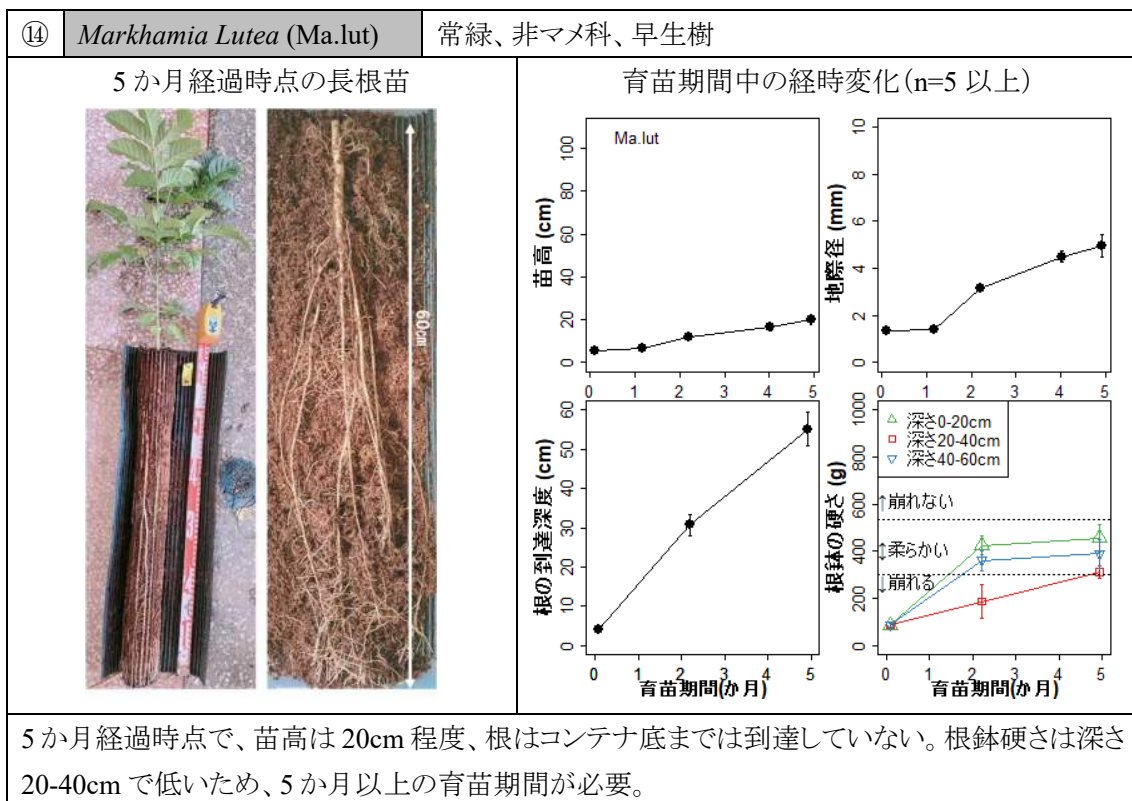
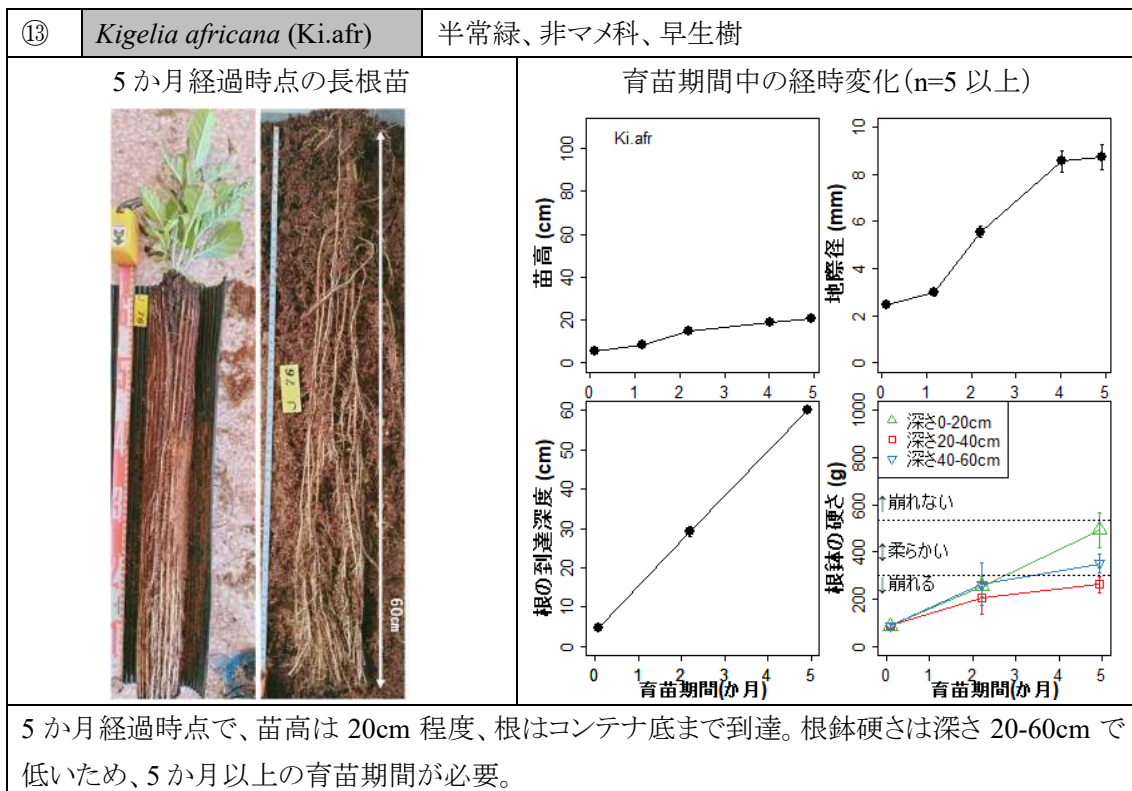


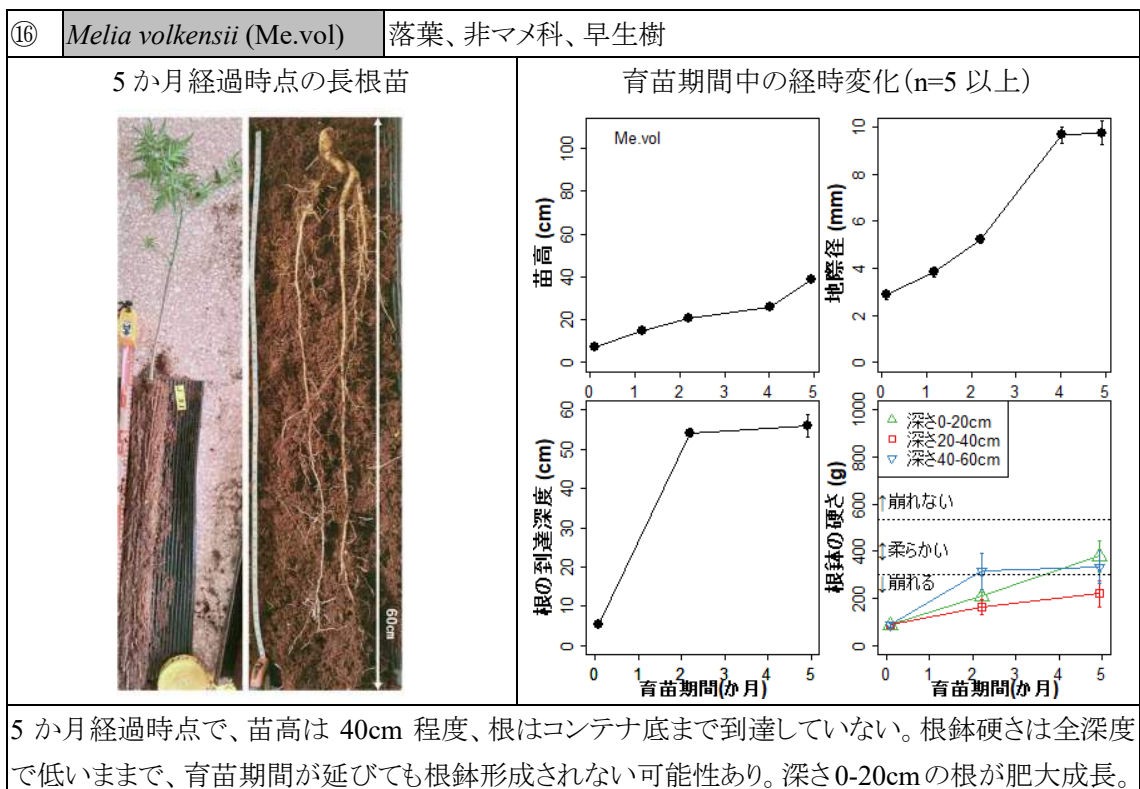
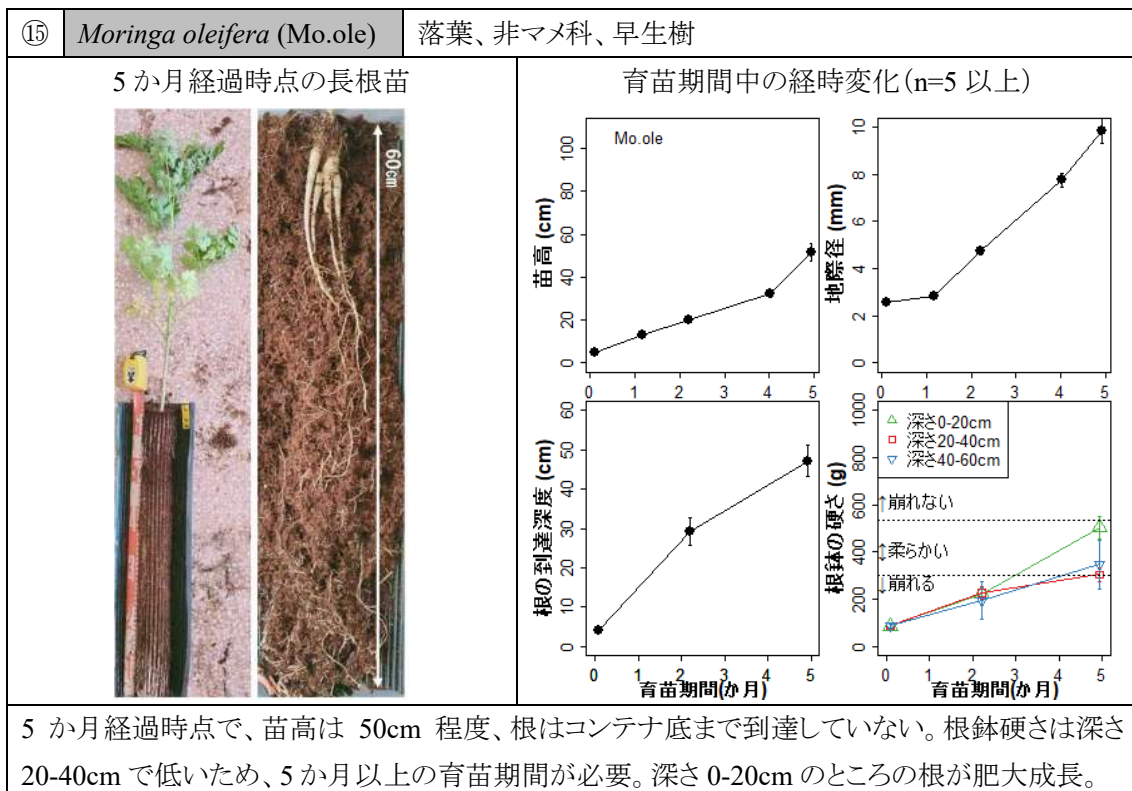


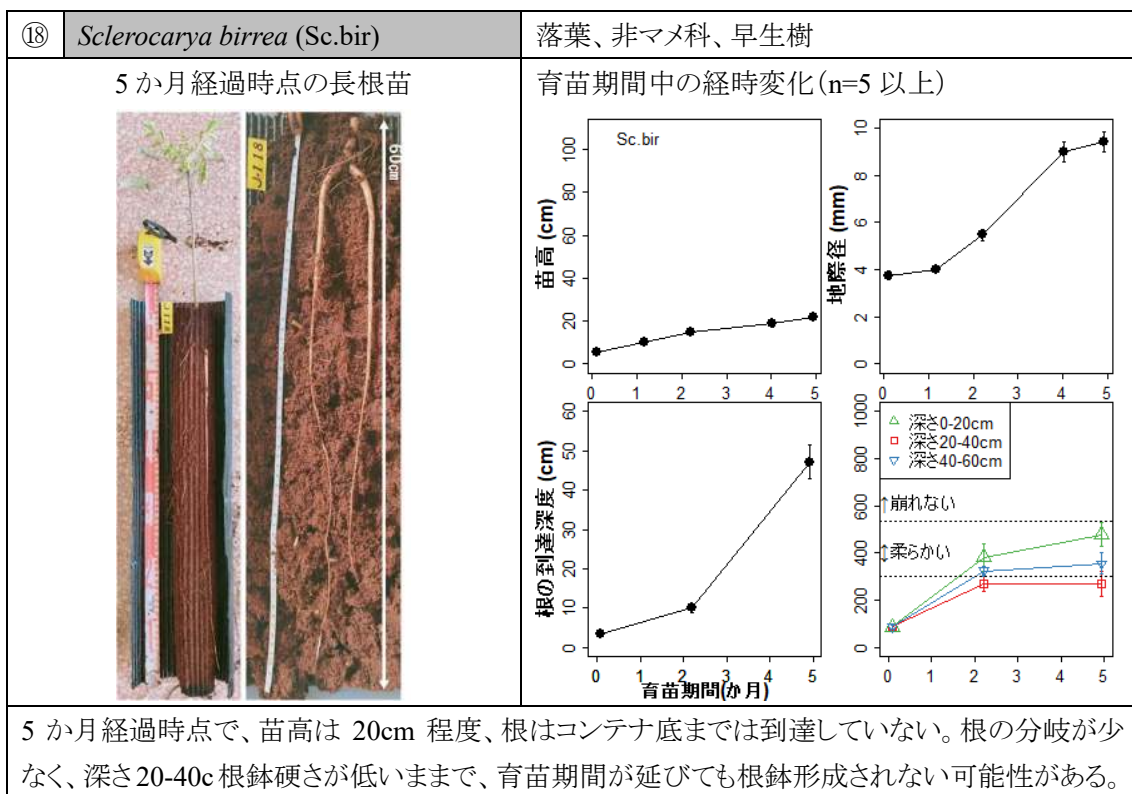
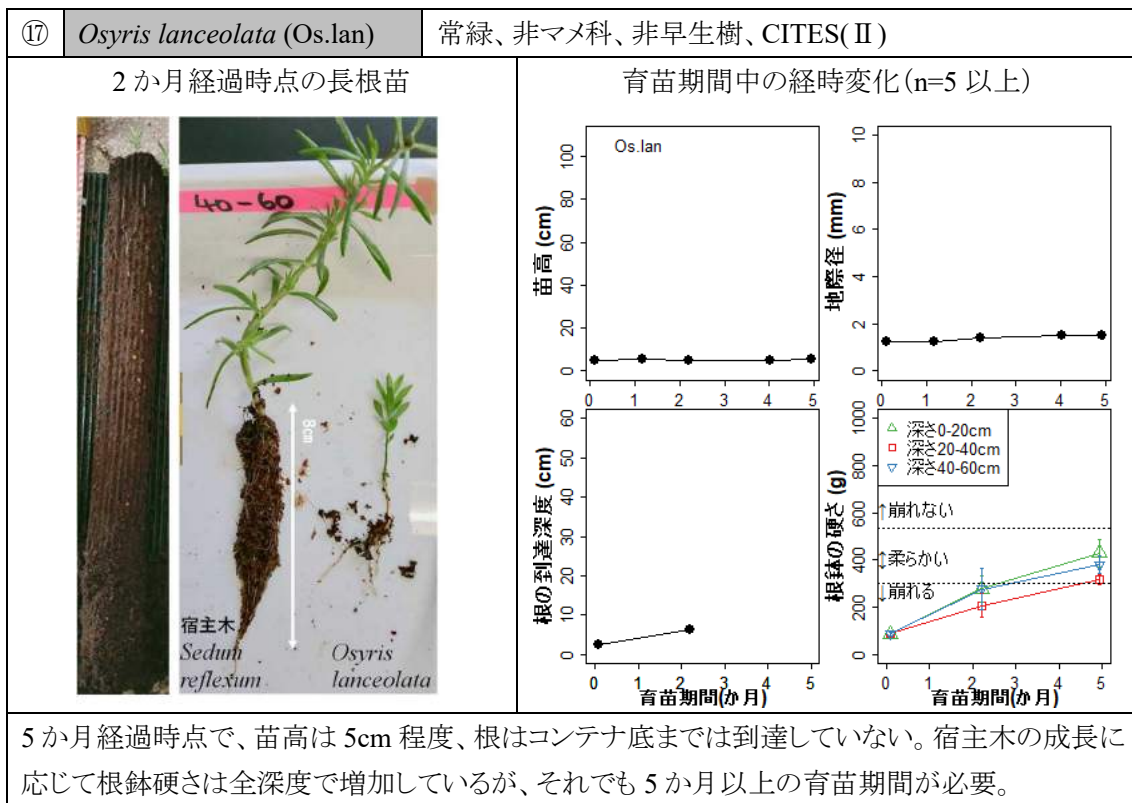


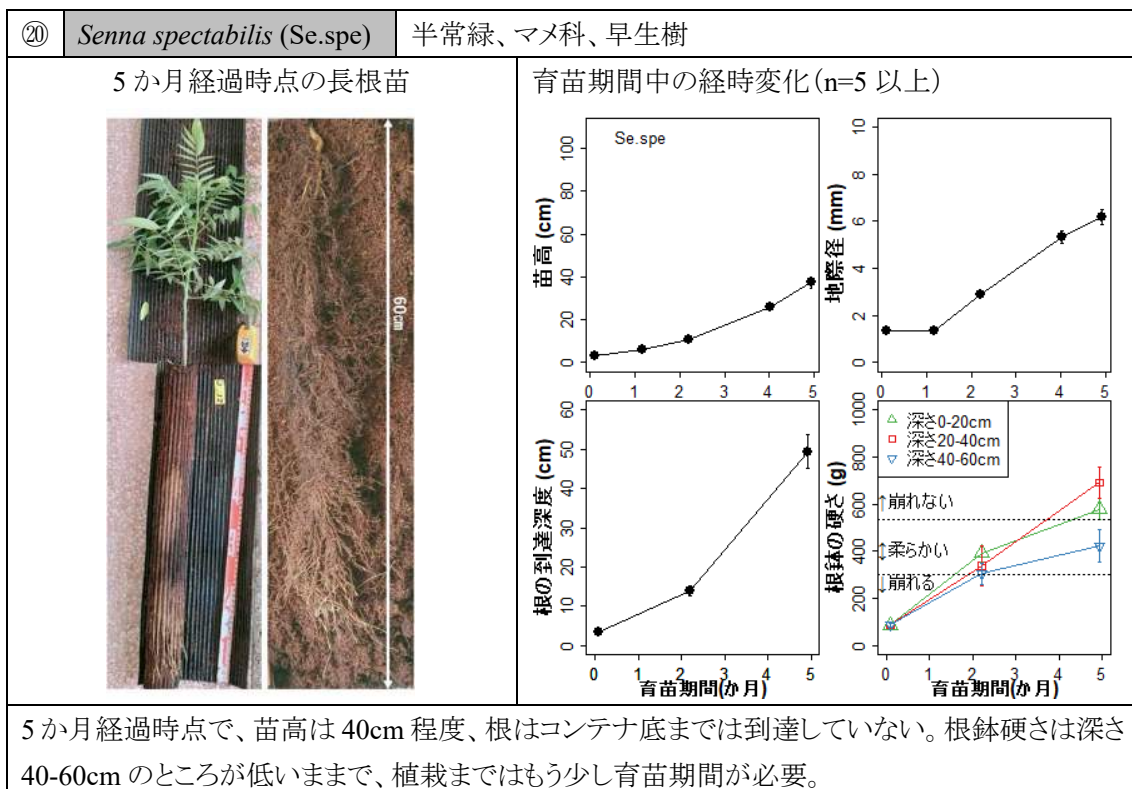
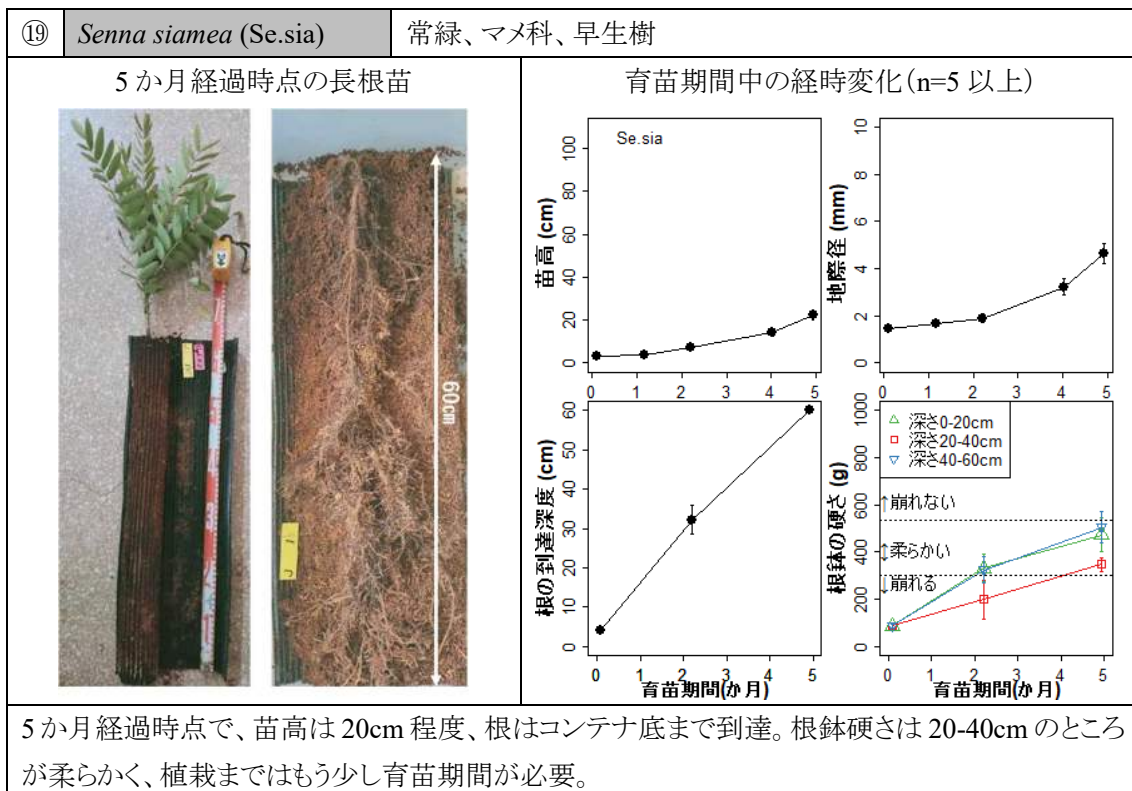


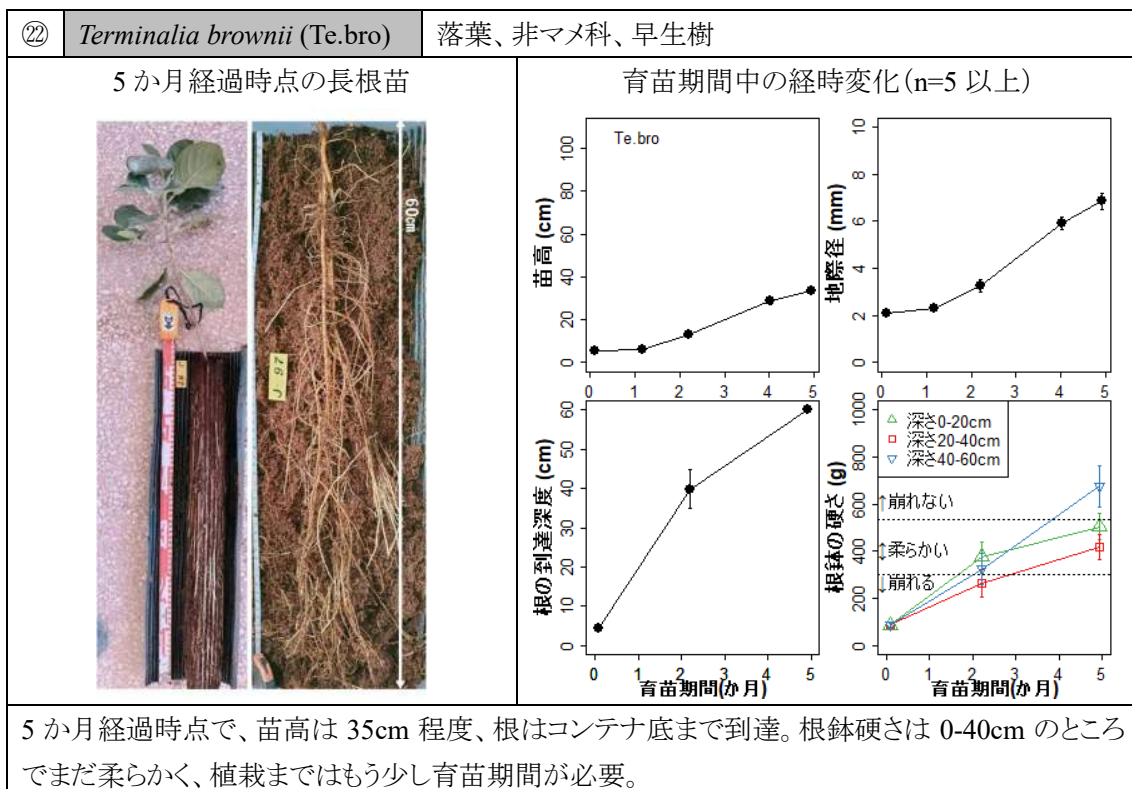
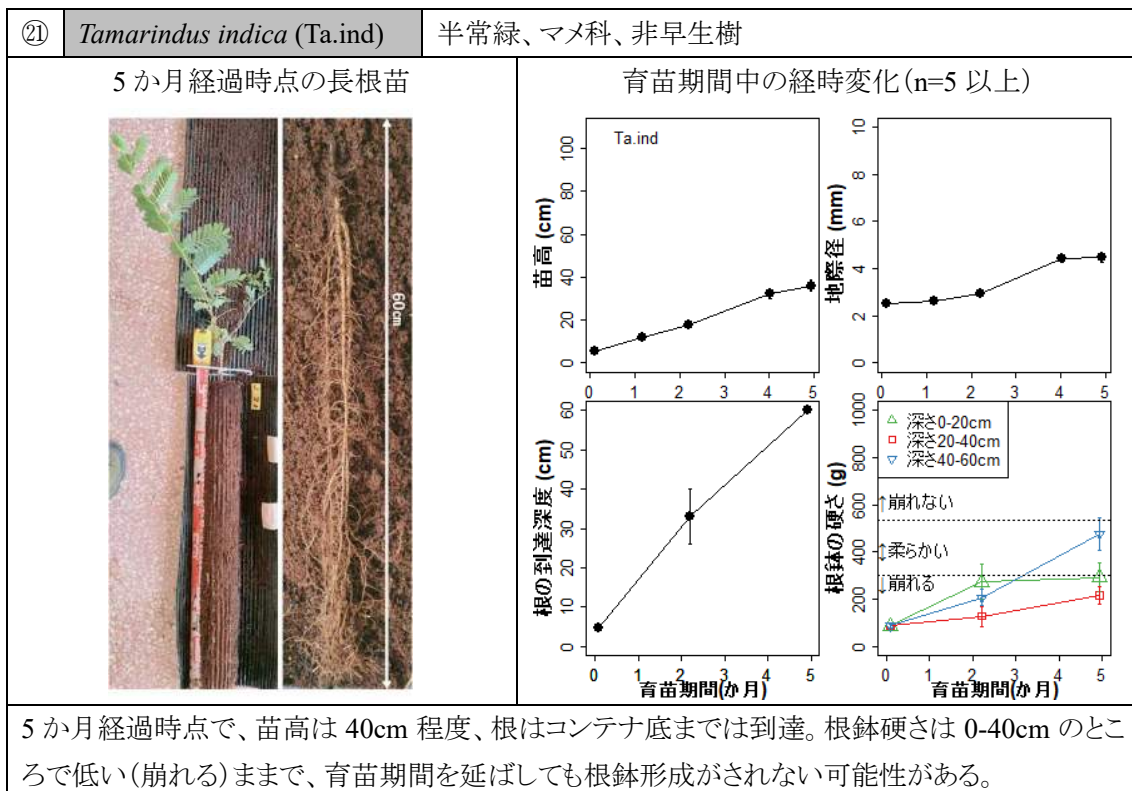


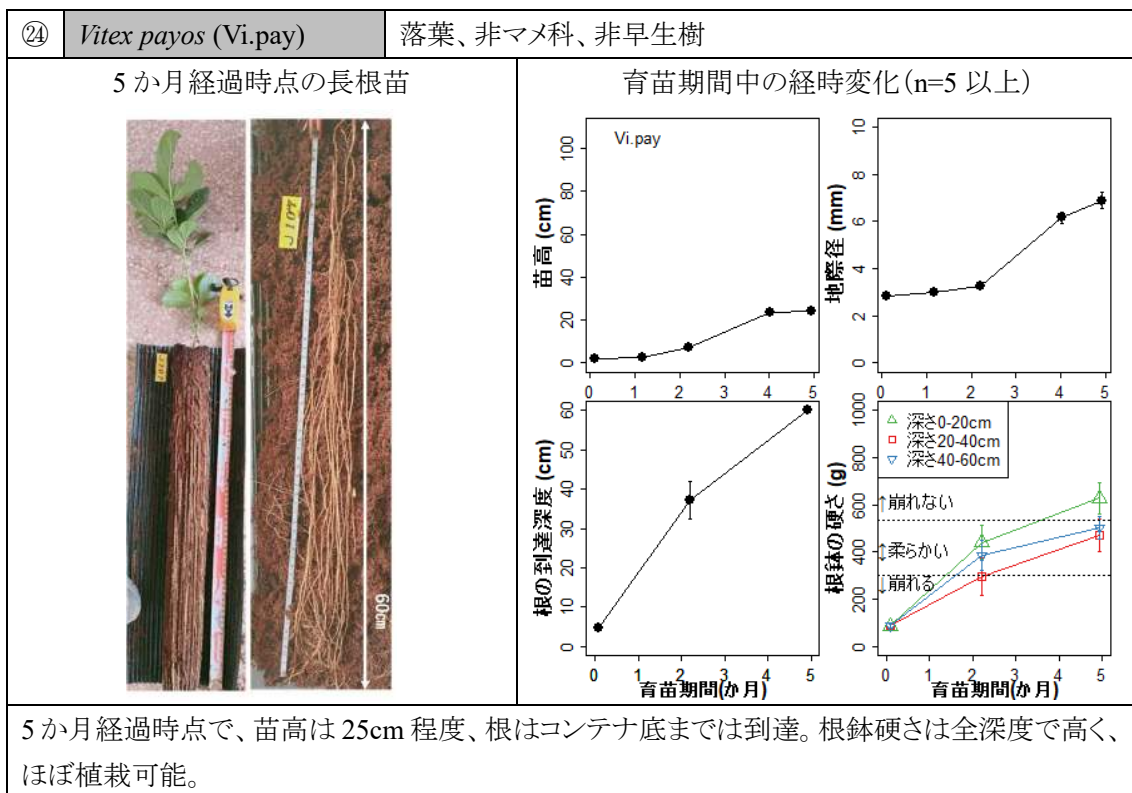
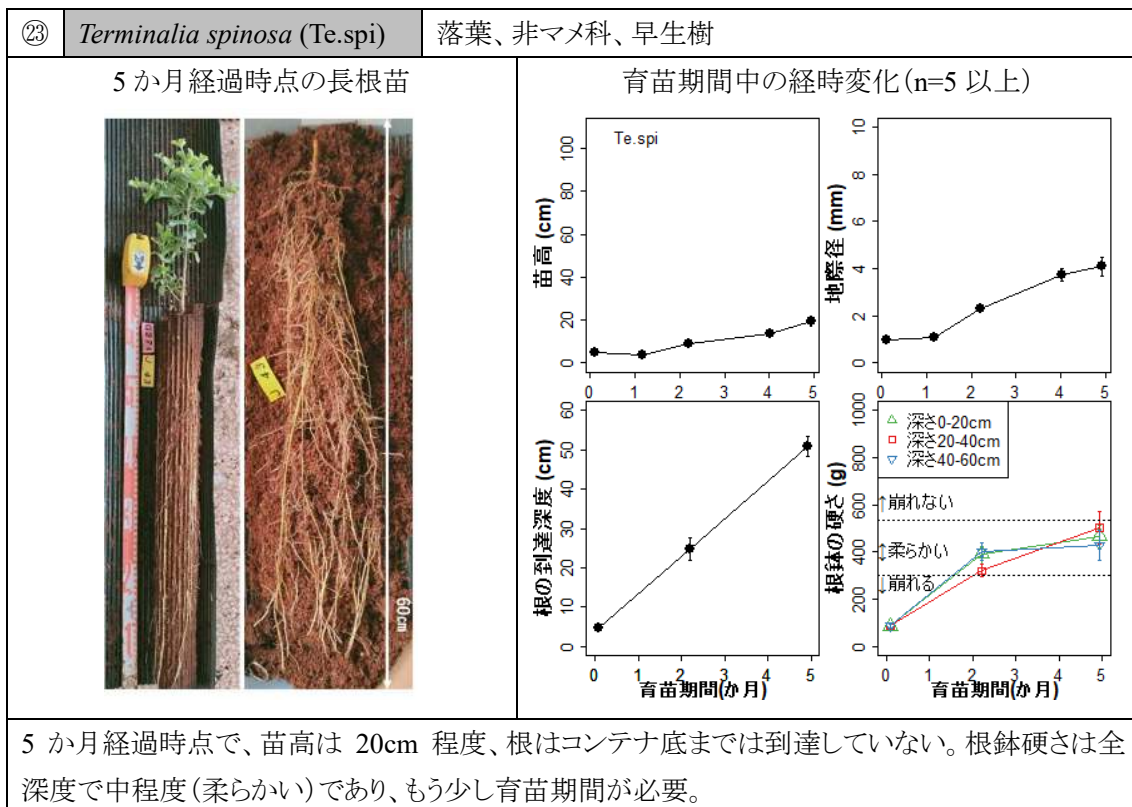


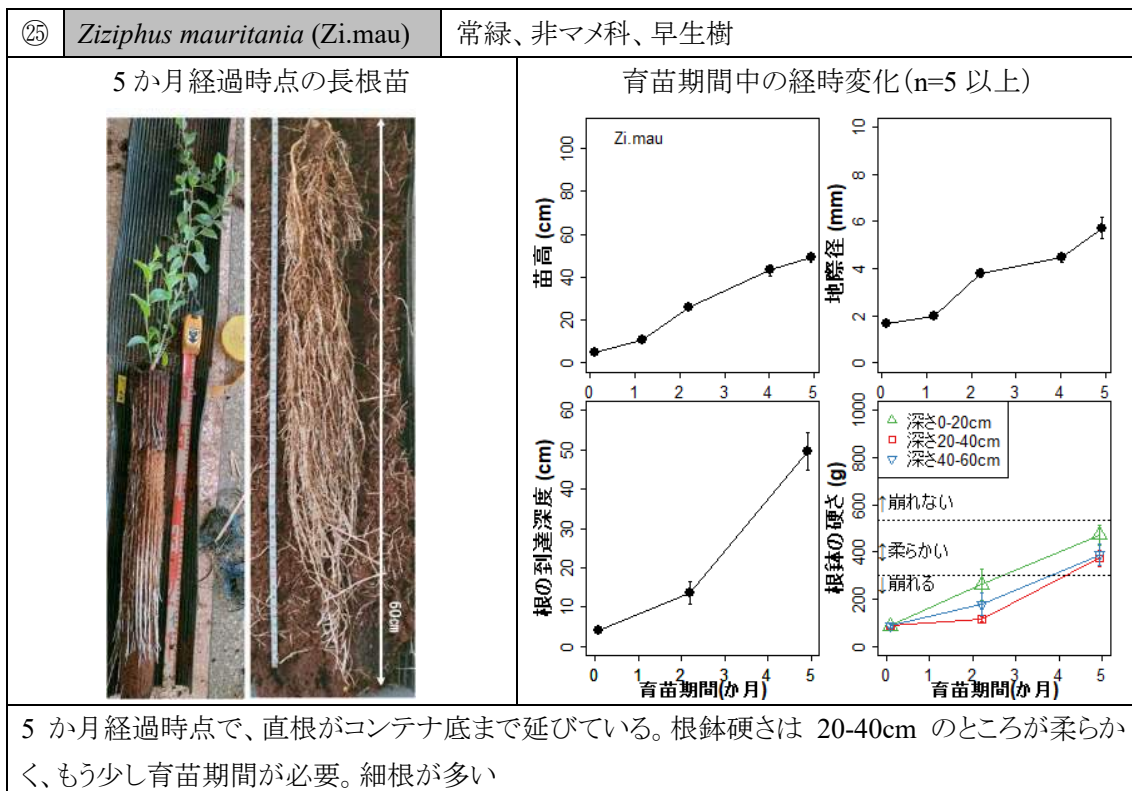












根鉢形成の観点からみた長根苗の必要育苗期間をもとに、対象 25 樹種は表 3-3 の通り分類された。

表 3-3 根鉢形成の観点からみた長根苗の必要育苗期間 (Az.ind は除く 24 樹種)

長根苗育苗に必要な育苗期間	5 か月経過時点の根鉢形成状況	該当樹種
5 か月前後	全 3 深度で根鉢形成	Ac.pol, Ac.sen, Eu.cam, Gm.arb, Ca.equ, Vi.pay
5 か月以上 (1 年未満で根鉢形成の可能性高い)	一部の深度で根鉢が未形成 (柔らかい) だが、硬さは増加中	Ac.sey, Ac.tor, Cr.meg, Da.mel, Ki.afr, Ma.lut, Mo.ole, Os.lan, Se.sia, Se.spe, Te.bro, Te.spi, Zi.mau
長く育苗しても根鉢形成されない可能性	一部の深度で根鉢硬さが低いままの状態	Ba.aeg, Fa.alb, Me.vol, Sc.bir, Ta.ind

3.5.2 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)の結果

3つの深さの M-StAR で育てた *Ac.tor*, *Da.mel*, *Me.vol* の育苗 5 か月時点の苗木の成長(地際径、苗高)は 図 3-22 の通りである。

各樹種で、成長(地際径、苗高)を予測する GLM モデル(Gamma,log 関数)を作成した。最小 AIC を示した最適 GLM モデルの説明変数にコンテナ深さが含まれば、苗木成長に対するコンテナ深さの影響があると考えられる。結果、*Ac.tor* の苗高、*Da.mel* の地際径、*Me.vol* の苗高の最適 GLM モデルに「コンテナ深さ」が含まれ、コンテナ深さが深いほど成長がよくなることが分かった。その他については、コンテナ深さの苗木成長に対する正の効果は見られなかったが、コンテナ深さが深くなることによって、成長が阻害されることはないことが証明できた。

ただし、今回はまだ根の成長量は評価していない。更に育苗を数か月続けたのち、シュートと根の乾燥重量や根の形態に対して、コンテナ深さがどのような影響を及ぼすか明らかにする予定である。

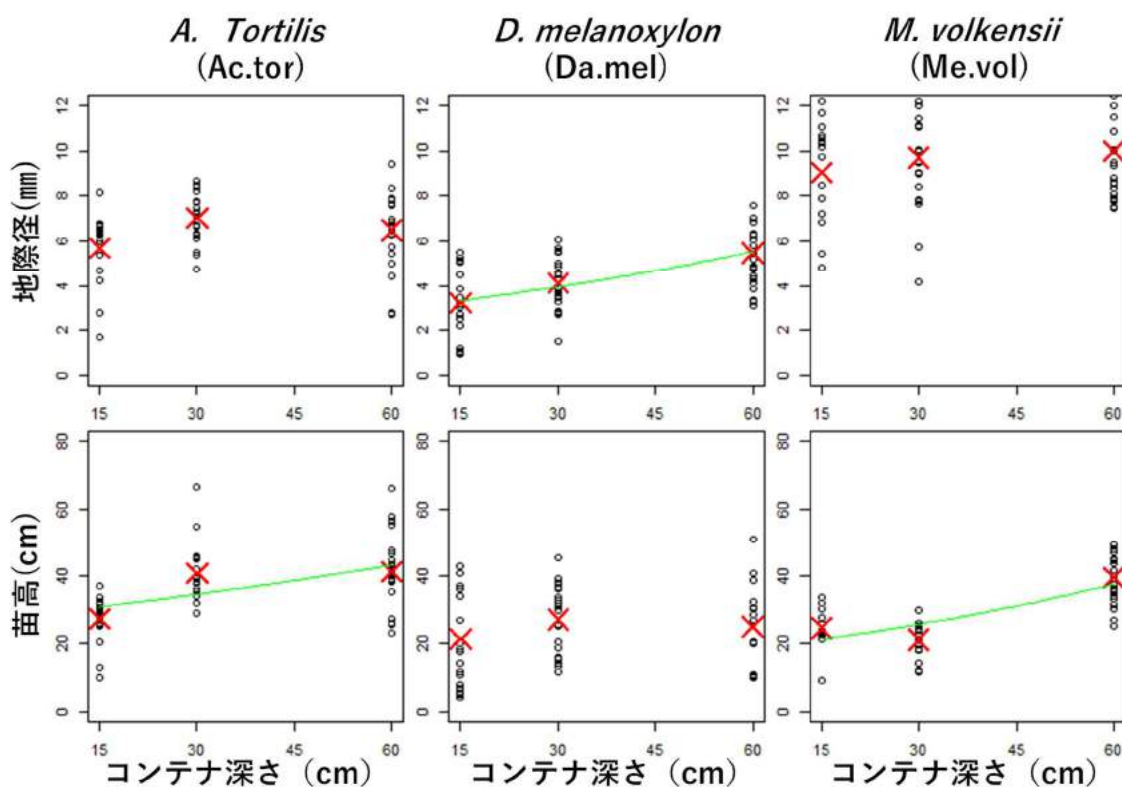


図 3-22 育苗 5 か月時点の苗木成長(地際径、苗高)に対するコンテナ深さの影響
(n=19 以上(*Ac.tor*), 19 以上(*Da.mel*), 15 以上(*Me.vol*), 赤×は平均値、GLM(Gamma,log 関数)で、最適モデルの説明変数にコンテナ深さが含まれた場合はそれを緑線で表示。)

3.5.3 育苗試験③(苗木成長に対するもみ殻燐炭混合の影響)の結果

5 つのもみ殻燐炭の混合割合の培地を M-StAR に充填し、育てた *Ac.tor*, *Da.mel*, *Me.vol* の育苗 5 か月時点の苗木の成長(地際径、苗高)は 図 3-23 の通りになった。

各樹種で、成長(地際径、苗高)を予測する GLM モデル(Gamma,log 関数)を作成した。最小 AIC を示した最適 GLM モデルの説明変数にもみ殻燐炭の割合が含まれば、苗木成長に対するもみ殻燐炭の影響があると考えられる。この結果、*Da.mel* の地際径と苗高、*Me.vol* の苗高の最適 GLM モデルにもみ殻燐炭の割合が含まれ、もみ殻燐炭の割合が多くなるほど成長が悪くなることが分かった。ただし、その影響は大きくないため、もみ殻燐炭を 75%程度までなら混ぜても、苗木の成長の低下はわずかなことが証明できた。*Ac.tor* については、もみ殻燐炭混入による一定の影響は見られなかったが、もみ殻燐炭 100%だと苗高が極端に低くなる可能性が示された。

ただし、今回はまだ根の成長量は評価していない。更に数か月育苗を続けたのち、シュートと根の乾燥重量や根の形態に対して、もみ殻燐炭がどのような影響を及ぼすか明らかにする予定である。

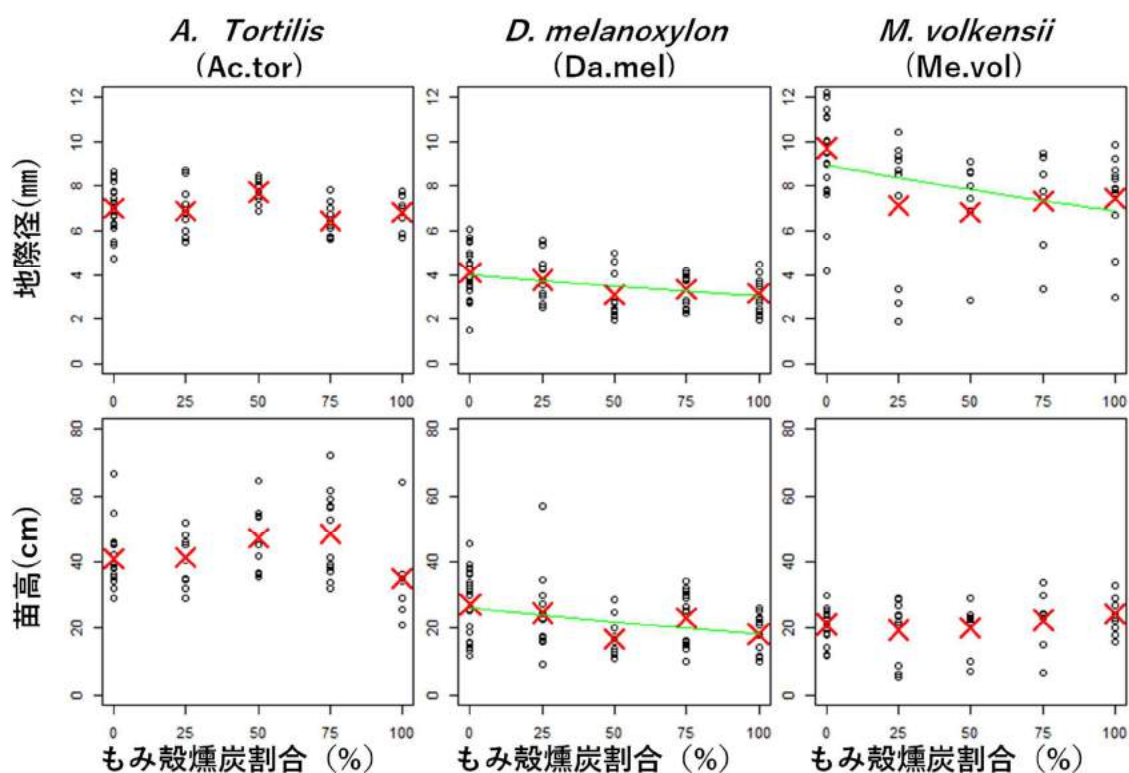


図 3-23 育苗 5 か月時点の苗木成長(地際径、苗高)に対するもみ殻燐炭の影響
(n=7 以上(*Ac.tor*), 12 以上(*Da.mel*), 7 以上(*Me.vol*)), 赤×は平均値、GLM(Gamma,log 関数)で、最小 AIC モデルの説明変数にもみ殻燐炭割合が含まれた場合はそれを緑線で表示。



図 3-24 育苗 5 か月時点のもみ殻燐炭処理の苗木 (*Acacia tortilis* (Ac.tor))

3.6 当該技術の普及に向けたコスト試算

ケニアでの長根苗の育苗コストは従来ポット苗よりも 20 円/苗程度高くなる見込みである(図 3-25)。ただし、M-StAR の材料を日本から輸入する必要がある。培地コストについては、育苗試験 ③(苗木成長に対するもみ殻燐炭混合の影響)の結果からもう少し抑えることができるかもしれない。

育苗のコスト面から考えると、従来のポット苗でも問題なく植林できている場合は長根苗の必要性は低い。ただし、乾燥地では植栽コストが割高になりやすく、(ミャンマーでは灌水や大きな植穴掘削に係る人件費は 50 円/苗以上)。育苗コストだけでなく、植栽コストなども含め、長根苗により得られる植栽時期の拡大などのメリットを考慮して長根苗の使用を検討したほうがよい。なお、植栽コストは、その大部分が人件費であり、各国の相場や熟練度により変動しやすいことに加え、灌水の有無や補植の程度等でも大幅に変わるため単純には比較できない。植栽時の苗の根の形状は、ポット苗に比べ、M-StAR 長根苗のほうがよいことは確かであることに加え(R2 報告書参照)、植栽コストの面からは、長根苗が従来法よりも高くなることは少なくともないので、植林地の条件・目的に合わせ長根苗を使うかどうか判断するのが望ましい。植林地の条件・目的によっては、育苗コストが 60cm M-StAR 長根苗の約半分に抑えられる深さ 30cm M-StAR 長根苗を使う選択肢もありうる。

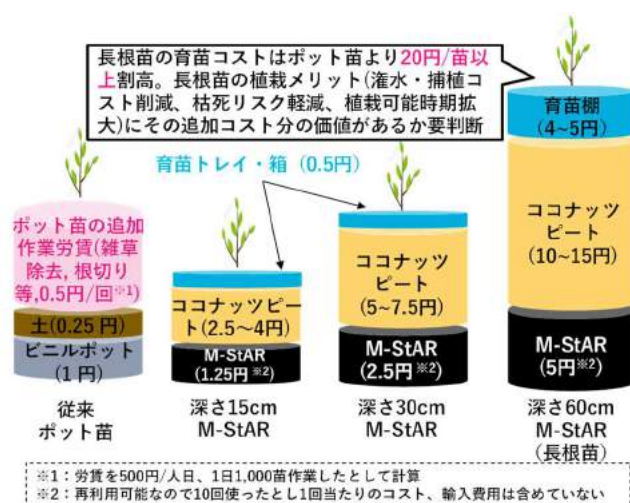


図 3-25 苗木1本あたりの育苗コスト(ケニアでの従来法と比較した際の追加分のみ)

3.7 試験対象国における技術普及説明会

開催日時	2022 年 2 月 24 日		
場所	ケニア森林研究所(キツイ)		
参加者	キツイ群の森林公社職員、苗畑管理者、群職員等が約 20 名参加、JIFPRO(柴崎)		
内容	JIFPRO からミャンマーやケニアで実施している長根苗試験を説明。その後、ケニアでの長根苗の試験地を視察。研修終了後に M-StAR とココナッツピートを研修員に配布した。参加者からは M-StAR 輸入方法や価格等について質問があった。		
			
長根苗の考え方やミャンマーとケニアでの長根苗試験の結果を説明	長根苗の育苗試験地にて実際に長根苗の育苗風景を視察	M-StAR とココナッツピートをサンプル配布	

3.8 実証試験の総括と今後の展開

育苗試験①(25 樹種長根苗スクリーニング)の結果から、シュート成長や根鉢形成には差があるものの、ほぼ大体の樹種がコンテナ底近くまで根を発達させることが分かった。これにより長根苗の基本的な育苗方法はほぼ確立したと言える。ただし、長根苗が植栽時の生残率向上にどの程度効果的であるかどうかについては、まだまだ検証が必要である。今回試験を行った雨季植栽での長根苗の効果・必要性については、乾燥地の降雨パターンは年により異なるので、ミャンマーで行った 1 回の試験の結果をただちに一般化するのは難しい。乾季植栽では、植栽後、無降水でも長根苗であれば 4 か月程度生き残り、植栽直後の苗木の活着にプラスに働いているのは確かである。また、植栽時の苗の根の形状は長根苗のほうがよく、長根苗により植栽後のパフォーマンスが悪くなる可能性は低い(R2 報告書参照)。育苗コストが高くなる長根苗の活用技術を確認していくためには、どんな場面(時期、場所、樹種 etc.)で長根苗を使うのがよいか見極めていく必要がある。植栽時期や樹種によっては、深さ 60cm もの長い長根苗は必要ないかもしれない。育苗試験②(苗木成長に対するコンテナ深さの効果)で 3 つのコンテナ深さ(15cm、30cm、60cm)で育てた 3 樹種の苗は、R4 年度に植栽試験を行う予定である。これにより、コンテナ深度がどの程度生残に効果を及ぼすかを定量的に把握できる見込みである。

最後に、長根苗技術の実用化に向けては試験(研究)だけでなく、実際の植林現場でオペレーションしてみて改善点や課題を見つけていく必要がある。今後は JICA プロジェクトや企業の植林事業にも、長根苗技術を導入してもらう事例を重ね、その課題を抽出・解決しながら、長根苗技術を確認していく予定である。

3.9 成果品、学会・展示会等における公表及び技術の利活用状況

ミャンマーでの長根苗の育苗試験の結果については現在国際誌に投稿中

3.10 参考文献

- Aphalo, P., & Rikala, R. (2003). Field performance of silver-birch planting-stock grown at different spacing and in containers of different volume. *New Forests*, 25(2), 93–108. <https://doi.org/10.1023/A:1022618810937>
- Bainbridge, D. A. (2012). Using tree shelters as deep containers. *Tree Plant Notes*, 55, 49–54.
- Castro, J., Zamora, R., Hódar, J. A., Gómez, J. M., & Gómez-Aparicio, L. (2004). Benefits of using shrubs as nurse plants for reforestation in Mediterranean mountains: A 4-year study. *Restoration Ecology*. <https://doi.org/10.1111/j.1061-2971.2004.0316.x>
- Chirino, E., Vilagrosa, A., Hernández, E. I., Matos, A., & Vallejo, V. R. (2008). Effects of a deep container on morpho-functional characteristics and root colonization in *Quercus suber* L. seedlings for reforestation in Mediterranean climate. *Forest Ecology and Management*, 256(4), 779–785. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.05.035>
- Cortina, J., Vilagrosa, A., & Trubat, R. (2013). The role of nutrients for improving seedling quality in drylands. *New Forests*, 44(5), 719–732. <https://doi.org/10.1007/s11056-013-9379-3>
- De La Fuente, L., Ovalle, J., Arellano, E., & Ginocchio, R. (2017). Use of alternative containers for promoting deep rooting of native forest species used for dryland restoration: the case of *Acacia caven*. *IForest - Biogeosciences and Forestry*, 10(5), 776–782. <https://doi.org/10.3832/for2101-010>
- Dominguez-Lerena, S., Herrero Sierra, N., Carrasco Manzano, I., Ocaña Bueno, L., Peñuelas Rubira, J. L., & Mexal, J. G. (2006). Container characteristics influence *Pinus pinea* seedling development in the nursery and field. *Forest Ecology and Management*, 221(1–3), 63–71. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.08.031>
- Dreesen, D., Harrington, J., Harrington, J., Subirge, T., Subirge, T., Stewart, P., Stewart, P., Fenchel, G., & Fenchel, G. (2002). Riparian restoration in the Southwest: species selection, propagation, planting methods, and case studies. *SO. National Nursery Proceedings*.
- Dreesen, D. R., & Fenchel, G. A. (2010). Deep-planting techniques to establish riparian vegetation in arid and semiarid regions. *Native Plants Journal*, 11(1), 15–22. <https://doi.org/10.2979/NPJ.2010.11.1.15>
- Gerhardt, K. (1996). Effects of root competition and canopy openness on survival and growth of tree seedlings in a tropical seasonal dry forest. *Forest Ecology and Management*, 82(1–3), 33–48. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(95\)03700-4](https://doi.org/10.1016/0378-1127(95)03700-4)
- Grossnickle, S. C. (2005). Importance of root growth in overcoming planting stress. *New Forests*, 30(2–3), 273–294. <https://doi.org/10.1007/s11056-004-8303-2>
- Grossnickle, S. C. (2012). Why seedlings survive: influence of plant attributes. *New Forests*, 43(5–6), 711–738. <https://doi.org/10.1007/s11056-012-9336-6>
- Landis, T. D., Tinus, R. W., McDonald, S. E., & Barnett, J. P. (1990). Containers and growing media. *The Container Tree Nursery Manual*, 2, 41–85.
- León, M. F., Squeo, F. A., Gutiérrez, J. R., & Holmgren, M. (2011). Rapid root extension during water pulses enhances establishment of shrub seedlings in the Atacama Desert. *Journal of Vegetation Science*, 22(1), 120–129. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2010.01224.x>
- Magaju, C., Winowiecki, L. A., Crossland, M., Frija, A., Ouerghemmi, H., Hagazi, N., Sola, P., Ochenje, I., Kiura, E., Kuria, A., Muriuki, J., Carsan, S., Hadgu, K., Bonaiuti, E., & Sinclair, F. (2020). Assessing context-specific factors to increase tree survival for scaling ecosystem restoration efforts in east africa. *Land*, 9(12), 1–20. <https://doi.org/10.3390/land9120494>
- Mariotti, B., Maltoni, A., Jacobs, D. F., & Tani, A. (2015). Container effects on growth and biomass allocation in *Quercus robur* and *Juglans regia*

- seedlings. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 30(5), 401–415. <https://doi.org/10.1080/02827581.2015.1023352>
- Mitsugi, Y. (2010). Studies on propagation of Sugi (*Cryptomeria japonica*) using M-StAR Container (Multi-Stage Adjustable Rolled Container)(I)(Japanese). *Kyushu J. For. Res.*, 63, 78–80.
- Nesmith, D. S., & Duval, J. R. (1998). The effect of container size. *HortTechnology*. <https://doi.org/10.21273/horttech.8.4.495>
- Ovalle, J., Arellano, E., & Ginocchio, R. (2015). Trade-offs between drought survival and rooting strategy of two South American Mediterranean tree species: implications for dryland forests restoration. *Forests*, 6(12), 3733–3747. <https://doi.org/10.3390/f6103733>
- Padilla, F. M., & Pugnaire, F. I. (2007). Rooting depth and soil moisture control Mediterranean woody seedling survival during drought. *Functional Ecology*, 21(3), 489–495. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2007.01267.x>
- Padilla, Francisco M., Miranda, J. D. D., & Pugnaire, F. I. (2007). Early root growth plasticity in seedlings of three Mediterranean woody species. *Plant and Soil*, 296(1–2), 103–113. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9294-5>
- Pemán, J., Voltas, J., & Gil-Pelegrin, E. (2006). Morphological and functional variability in the root system of *Quercus ilex* L. subject to confinement: consequences for afforestation. *Annals of Forest Science*, 63(4), 425–430. <https://doi.org/10.1051/forest:2006022>
- Pinto, J. R., Marshall, J. D., Dumroese, R. K., Davis, A. S., & Cobos, D. R. (2011). Establishment and growth of container seedlings for reforestation: A function of stocktype and edaphic conditions. *Forest Ecology and Management*, 261(11), 1876–1884. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.02.010>
- Sagrera, B., Biel, C., Savé, R., Torre, E., & Caldes, M. E.-. (2013). Effects of container volume and pruning on morpho-functional characters of *Salix elaeagnos* Scop. under water stress for Mediterranean riparian ecosystems restoration. *African Journal of Agricultural Research*, 8(2), 191–200. <https://doi.org/10.5897/AJAR12.1488>
- Saito, T., Y. Ogasa, M., Tobita, H., Yazaki, K., Kabeya, D., Oguro, M., & Utsugi, H. (2019). Estimating physical properties of the root ball in containerized Japanese cedar (Sugi) seedlings. *Journal of the Japanese Forest Society*, 101(4), 145–154. <https://doi.org/10.4005/jjfs.101.145>
- Tsakalidimi, M., Zagas, T., Tsitsoni, T., & Ganatsas, P. (2005). Root morphology, stem growth and field performance of seedlings of two Mediterranean evergreen oak species raised in different container types. *Plant and Soil*, 278(1–2), 85–93. <https://doi.org/10.1007/s11104-005-2580-1>
- Vallejo, R., Aronson, J., Pausas, J. G., & Cortina, J. (2006). Restoration of mediterranean woodlands. In *Restoration ecology from an European perspective*.
- Villar-Salvador, P., Puértolas, J., Cuesta, B., Peñuelas, J. L., Uscola, M., Heredia-Guerrero, N., & Rey Benayas, J. M. (2012). Increase in size and nitrogen concentration enhances seedling survival in Mediterranean plantations. Insights from an ecophysiological conceptual model of plant survival. *New Forests*, 43(5–6), 755–770. <https://doi.org/10.1007/s11056-012-9328-6>
- Yanjun, Z., Suyun, C., Gangqiang, D., Min, Z., Xuexia, P., & Lei, Z. (2011). Molecular analysis and antibiotic resistance investigation of *Staphylococcus aureus* isolates associated with staphylococcal food poisoning and nosocomial infections. *African Journal of Biotechnology*, 10(15), 2965–2972. <https://doi.org/10.5897/AJB10.1977>