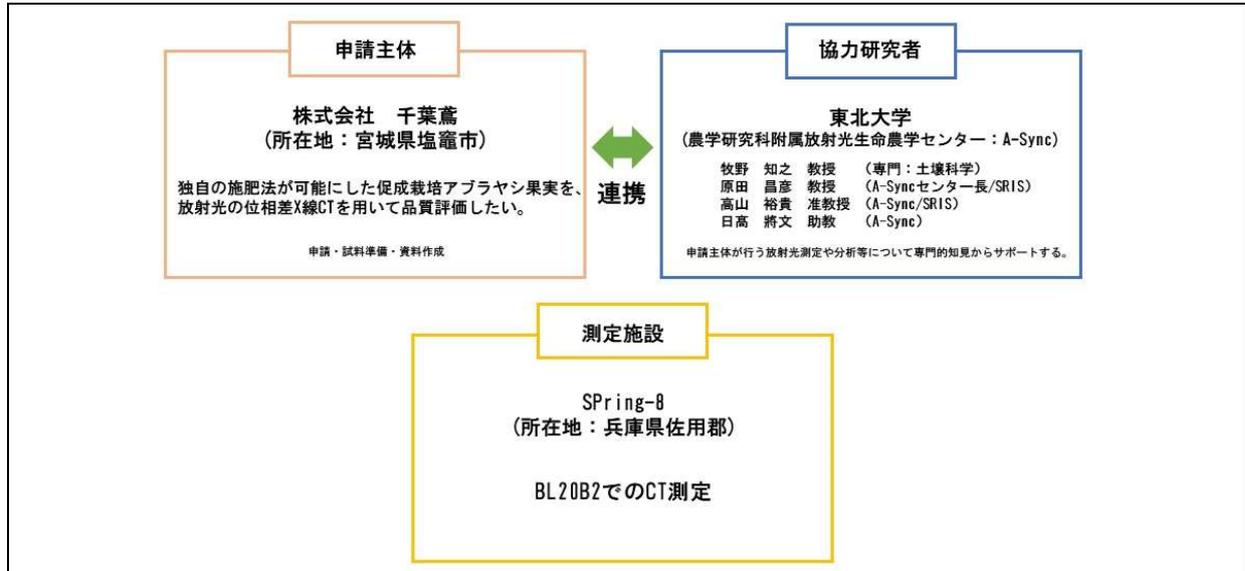


令和 5 年度仙台市既存放射光施設活用事例創出事業（トライアルユース） 事例報告書

1 課題名

弊社独自の施肥法が可能にした促成栽培 ～アブラヤシ果実の放射光を用いた品質評価～

2 測定にあたっての体制（社外委託先を含め記載）



3 背景と測定目的

◇背景

アブラヤシはパーム油の原料となる果実であり、主にインドネシアやマレーシアで栽培されている作物である。先端部近くに果房と呼ばれる房状の実が多数実り(図 1)、その果房の油分を絞り採ったのがパーム油となる。主に食用油として利用されるほか、マーガリンなどの食品や洗剤、石鹼などの日用品に使用されている。

アブラヤシは、1 年を通して実をつけるため単位面積当たりの収穫量が他の植物油原料よりはるかに高く、大豆油やなたね油と比べて 8～10 倍もの生産が可能とされており、世界で採れる植物油の中で最も量が多く約 40%を占めている。

弊社は、宮城県塩竈市で建設業に従事しており、そのノウハウを活かし、インドネシア・カリマンタン島にて、アブラヤシ農園の圃場整備及び維持管理業務に従事している。

●アブラヤシに関する課題①：リプランティングの必要性

アブラヤシには寿命が存在し、植付けから約 25 年で房のサイズ、数が減少するため搾油量が減ってくる。そのため伐採し、その場所に新しい苗木を植えるリプランティングが施される。25 年という期間は経験則に基づいており、まだ十分に搾油量の見込めるもの、反対に搾油量が減ってしまったものも一律に伐採する。25 年が経過した果実（リプランティング果実）の状態に応じて伐採時期を決めることができれば、搾油効率を最大化できると考えている。

●アブラヤシに関する課題②：処理が確立されていない伐採後の幹

現在、伐採した古いアブラヤシの処理方法についてはインドネシアの法律により、幹のままでの放置は規制されている。しかし、処理方法は確立されておらず、従来の方法では埋設か細かく刻み山積み(図2,3)にされている。



図1:アブラヤシの実



図2:伐採後埋設された幹



図3:細かく刻み山積みされた幹

インドネシアでは約 885 万 ha のプランテーションでアブラヤシの栽培がされており、年間約 2000 万トンのアブラヤシ廃棄物が発生しているが、伐採後の幹は腐朽による悪臭や害虫の温床、雨で流されることによる川の汚染が問題視されている。このままでは、環境問題だけでなく処理場所がなくなり生産性への影響も懸念され、私たち日本人にも重要な問題となる。

◇これまでの取り組み ～未利用資源の活用～

弊社では、現地において問題となっている伐採後の幹を削減することを目的とし、伐採した幹を細かくチップング(繊維状)することにより堆肥化へ成功。堆肥を使用したトライアル栽培を実施した。観察した結果、従来の栽培方法では花が咲くまで約2年、実が生るまでに約3年とされているが堆肥を使用した弊社の栽培箇所では花が咲くのに7か月、実が生るのに10か月と是迄では考えられない生育速度を確認することができた。



伐採した幹を専用の機械でチップング



同時期に植付けした弊社施肥法栽培(左)と従来栽培(右)

トライアル栽培により、従来の栽培では考えられない程の生育状況を確認できたが、弊社独自の施肥法で栽培されたアブラヤシの状態に何らかの変化が起こっているのだろうか。生育速度の変化には様々な要因があると考えますが、内部構造にも変化は起きているのだろうか。

アブラヤシの実からなるパーム油は、世界一消費されている植物油である。日本でも食品や日用品、近年ではバイオマス発電の原料としても注目されており日本人の生活を支えているといっても過言ではない。年々生産量は増加傾向にあり、現地では急速に農園が広がっている。だが、農園開発による熱帯林の伐採が続き、それによる野生動物への影響や、泥炭地火災による煙害、地球温暖化の加速や大規模な農薬散布による健康被害等、様々な問題が山積している。

伐採後不要とされ放置されてきたアブラヤシの幹を有効な資源として活用し、生産性を上げることができれば、これらの問題解決の一端を担うことが出来るのではないかと考えた。農園を増やす以外の方法で、持続可能な作物生産が実現すればパーム油業界にとってのイノベーションにつながるかと考えた。

◇目的

本課題では、アブラヤシ内部を可視化することにより弊社が取り組んでいる堆肥を利用して栽培したアブラヤシの品質保証と搾油方法の検討。そして寿命(植付けから 25 年経過)は経験則ではなく、科学的根拠に基づいたリプランティングのためのエビデンスを得ることができるかを目的とした。①従来栽培(寿命)②従来栽培③弊社栽培の3種類を比較し、果実の内部構造(特に油分)の違いを評価対象とした。

測定サンプル(3種)

	 ①従来栽培(寿命)	 ②従来栽培	 ③弊社栽培
植付け経過時期	25年	5年	5年
特徴	—	—	伐採した幹を堆肥化し、その堆肥を使用した施肥栽培
生育	実が生るまで3年	実が生るまで3年	実が生るまで10ヶ月
寿命	植付けから約25年が経過すると生産性が著しく衰える	—	—
トライアルユースの目的	寿命経過により実の量は減るが内部構造に違いはあるのか	異なる栽培法である②従来栽培と③弊社栽培で内部構造の違いはあるのか	異なる栽培法である②従来栽培と③弊社栽培で内部構造の違いはあるのか
知りたいこと(大目的)	<ul style="list-style-type: none"> なぜ生産性が落ちているのか 内部構造に違いはあるのか 経験則(25年で寿命)ではなく、SDGsの観点からもエビデンスに基づいたリプランティングとしたい。 	<ul style="list-style-type: none"> 内部構造に違いはあるのか これまでの搾油方法が本当によいのか 	<ul style="list-style-type: none"> なぜ10ヶ月で実が生るのか 10ヶ月でも大丈夫なのか これまでと同じ搾油方法でもよいのか 内部構造に違いはあるのか

何を知りたいのか? そのためには何が分かると良いのか?

- ・弊社が取り組んでいる堆肥を利用して栽培しているアブラヤシの品質保証と搾油方法検討
- ・寿命(植付けから 25 年経過)は経験則ではなく、科学的根拠に基づいたリプランティングのためのエビデンスを得ることができるか。3種の果実構造の内部構造の違い(特に油分)の違いを見る。

何を見るのか?

- ・アブラヤシ(果実)の中の油分を含む組織構造に違いはあるのだろうか?

なぜ放射光を使うのか?

アブラヤシは切ると油が漏れ出るくらい油分が多く切片化が難しく、また電子顕微鏡の測定は断られる。また切ってしまうと切断面の組織の状態が変わってしまい比較できなくなることを懸念。→非破壊観察(CT測定)を希望。工業用(実験室用)CTでは、X線が軟組織を透過してしまうため、放射光の高輝度X線で位相差CTを測定したい。

(Am J Bot. 2021 Mar;108(3):472-494 に実験室装置を使ったアブラヤシのCTの事例あり)

これまでのトライアルユースの測定事例との違い

トライアルユースでイメージングされた食品や農産物の例は少なくない。しかし、多くは視野1センチ以下の小さなものの分析であり、農・食の試料では、もっと大きなものを非破壊で分析したいニーズがあると考えます。本申請課題では、SPRING-8のBL20B2の高輝度X線の利用で、視野3センチ程度の大きさであるアブラヤシ(果実)を分析したい。

◇試料準備

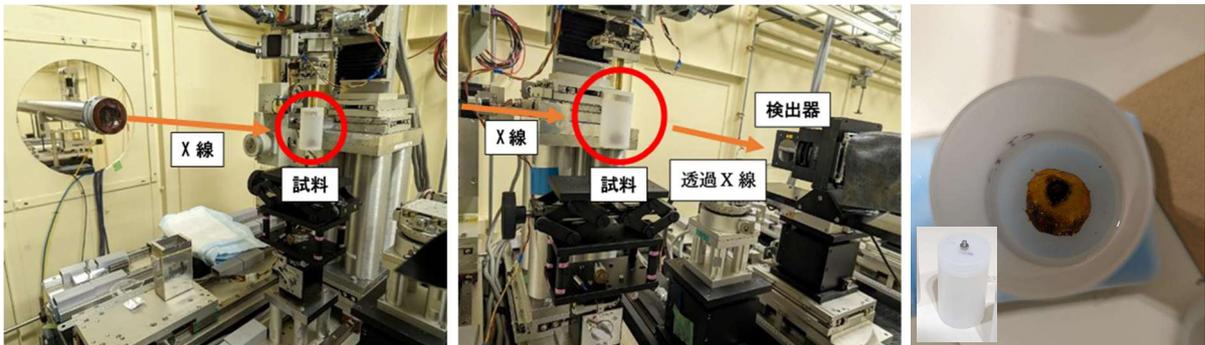
現地プランテーションにて3種のサンプルを採取。当初、インドネシア国内において実の輸出に制限はなかったが、その後果実の中にある種子に輸出制限が出てしまった。そのため、インドネシア植物防疫機関へ確認し、アブラヤシ(果実)はインドネシア国内で割断、種子を半分にする事で輸出が可能となった。日本国内では真空状態で持ち込み、測定までの保存方法は連携機関である東北大学へ相談、依頼し、冷凍保存をした。



4 測定方法 (測定手法、測定セットアップ、使用ビームラインなど)

◇測定・手法

令和6年6月に SPring-8(兵庫県佐用郡)にて BL20B2 での CT 測定を実施した。試料を筒入れ、筒に対して X 線を照射、透過した X 線を検出器で測定した。プラスチック製の筒状の容器を使用した。試料は筒の中にただ置いただけで、特に特別な操作は必要としなかった。



- ・干渉計を用いた位相 CT の測定を試みたが、アブラヤシの実内部が繊維質だったため測定がうまくいかなかったため、試料と検出器の距離を離して測定し、輪郭を強調した測定法で試料内部の構造を解析することにした。
- ・測定には 40 keV のエネルギーの X 線を用いた。
- ・試料を 0.05 度ずつ回転して、1 枚当たり 2 ミリ秒の X 線を照射した。合計 3600 枚 (180 度回転) の投影像を測定し、その投影像から 3 次元 CT 像を再構成した。
- ・CT 像の解像度は 5.69 μm /ピクセルで、試料を含む縦 23 x 横 23 x 高さ 13 mm の領域をデータ化した。
- ・測定時間は 1 試料当たり約 30 分 (試料交換、X 線照射、3 次元再構成) となった。

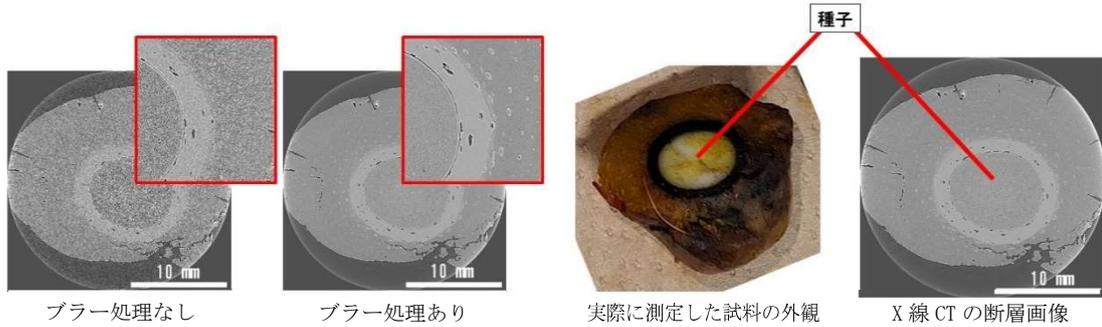
5 結果及び考察 (代表的なグラフや図を用いて分かりやすく説明すること)

◇測定結果

本測定ではアブラヤシの実の内部構造を一部とらえることに成功。しかし油分はX線が透過しやすいのでCTでは暗く見える。CTでは内部が暗い構造が見られた。この構造物は顕微鏡で見られた油分を多く含む細胞の大きさと一致していることから、細胞であると考えられる。ただし、解像度が不足しているため、細胞の内部の構造は判別できなかった。

◆アブラヤシの実の断層画像

ImageJでブラー処理(ぼかしを加える処理)を施すことで実の組織構造が明瞭になった。

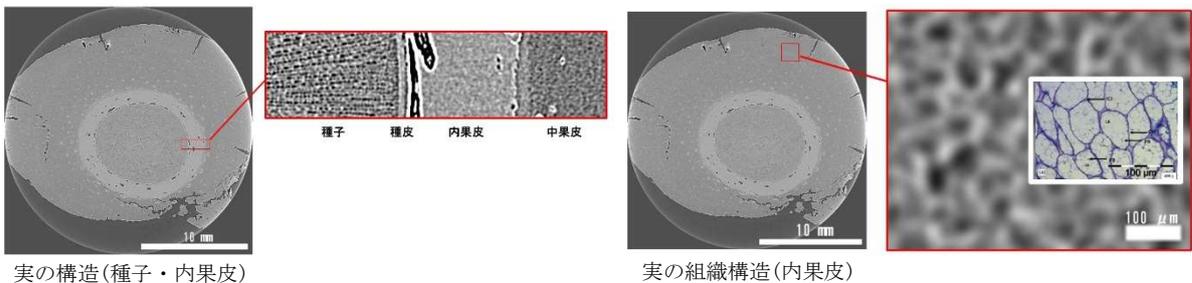


◆アブラヤシの実の構造 (種子・内果皮)

種子と、種子を取り囲む構造(内果皮)の構造が明確にとらえられた。

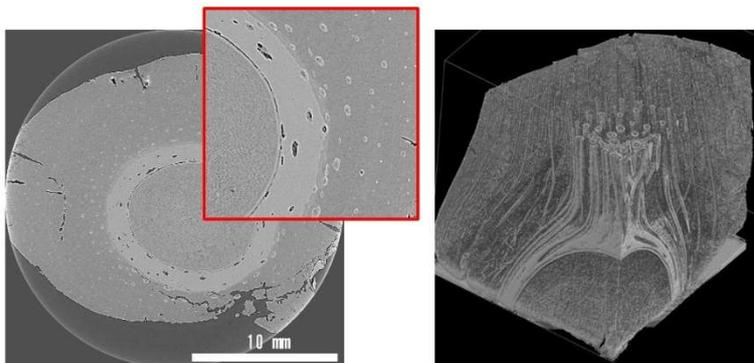
◆アブラヤシの実の組織構造 (中果皮)

油分はX線が透過しやすいので、CTでは暗く見える。CTでは、内部が暗い構造が見られた。この構造物は顕微鏡で見られた油分を多く含む細胞の大きさと一致していることから、細胞であると考えられる。ただし、解像度が不足しているため、細胞の内部の構造は判別できなかった。



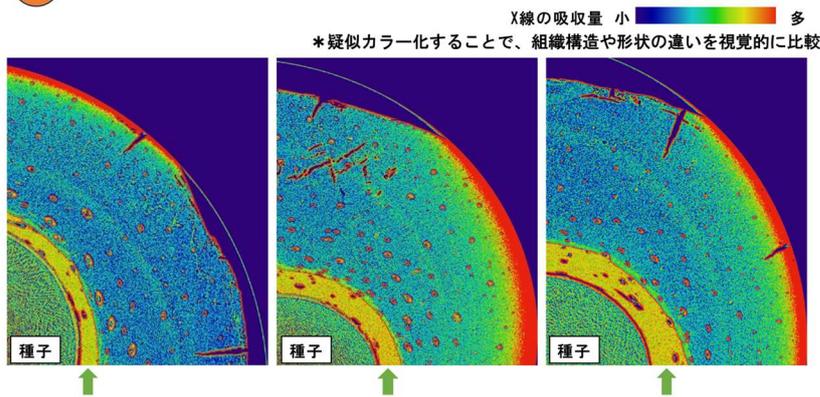
◆アブラヤシの実の立体像

アブラヤシの実内部にある通道組織が可視化された。



◆3種類のサンプルによる内部構造の比較

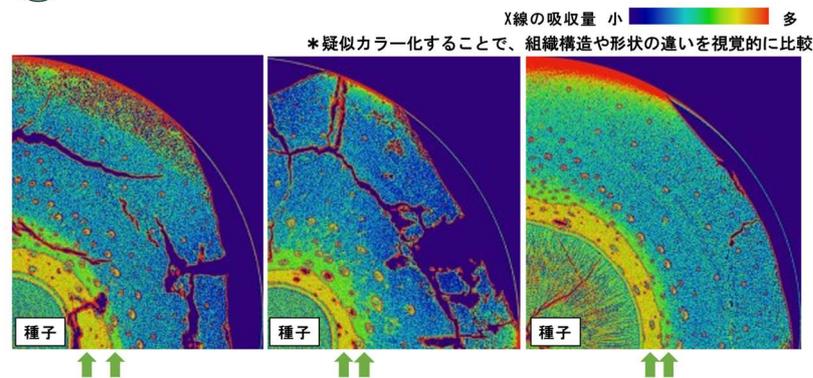
● 実の比較 ①従来栽培(寿命)



異なる3つの実についてX線CTを測定した。

標準品では2層に分かれているように見えた種子を覆う内果皮は、外側の層が薄くなっており、単層に見える。

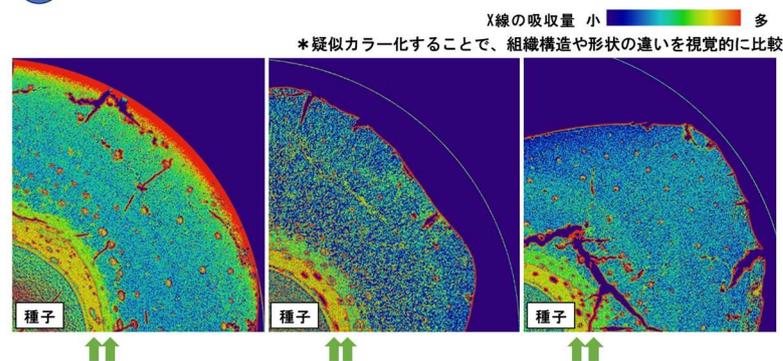
● 実の比較 ②従来栽培



異なる3つの実についてX線CTを測定した。

種子を覆う内果皮は、矢印で示した2層に分かれているように見える。

● 実の比較 ③弊社栽培



異なる3つの実についてX線CTを測定した。種子を覆う内果皮は、従来栽培と同様に2層に分かれているように見える。内果皮が2層になっていることと油の生産性の関係は不明だが、生産性の高い弊社栽培および従来栽培と、生産性が低い従来栽培(寿命)では内部構造に差が見られた。弊社栽培は生育が早いにも関わらず従来栽培のアブラヤシと遜色ない内部構造をしている可能性があり、今後も引き続き検証をしていきたい。

6 今後の課題

今回の測定を通して、アブラヤシの実の構造について細胞レベルの大きさを見ることができ、実の比較をした結果、実の内部構造には何かしらの違いがあるという事が分かった。従来栽培(寿命)、従来栽培、弊社栽培の試料間の違いについては、内果皮の構造に差が見られたが、この構造の違いと油の生産性の関係については不明であり、今後の研究課題である。輸出入の規制等により今回は実の測定となったが、今後土壌や茎葉、堆肥の測定にチャレンジする上で、本測定は今後の研究に期待が持てる結果となった。

また、20 mm を超える農産物試料について、SPring-8 の BL20B2 の装置を用いることで CT 測定ができることが分かった。より確度の高いデータとするためには試料の数を増やすことや試料の条件をより均一に揃える必要があるがインドネシアという日本国外での事業という事もあり、試料採取方法や輸出入方法も課題の一つである。また、この内部構造違いがどのような原因で生じているのか、そして生産性とどのように結びついているのかといった点については関係機関と連携をしながらさらなる研究が必要である。

NanoTerasu では、蛍光 X 線を用いる際、特に原子番号の小さな軽元素に着目した測定を得意としていることから、NanoTerasu を用いた測定も有効ではないかと期待をしている。

7 参考文献

[1] American Journal of Plant Sciences Vol.5 No.9(2014)