

熱帯微生物由来酵素による木質バイオマスの変換と有効利用法の開発

東京大学大学院 農学生命科学研究科 原 啓文



【略歴】

2003 年 3 月 長岡技術科学大学大学院 工学研究科博士後期課程修了 博士（工学）
2003 年 4 月 ブリティッシュコロンビア大学 微生物・免疫学部 博士研究員
2006 年 4 月 東京大学大学院 農学生命科学研究科 産学官連携研究員
2008 年 4 月 岡山理科大学 工学部 講師
2012 年 4 月 岡山理科大学 工学部 准教授
2013 年 4 月 マレーシア工科大学 マレーシア日本国際工科院 准教授
2018 年 4 月 筑波大学 グローバル教育院 准教授（兼任）
2021 年 4 月 東京大学大学院 農学生命科学研究科 特任准教授 現在に至る

はじめに

東南アジアの熱帯地域に属するマレーシアでは、パーム油の生産が盛んで世界第 2 位の生産量を誇る。一方、熱帯雨林や泥炭地へのオイルパームプランテーションの過度な拡充のため、環境破壊と共に大量な温室効果ガスの排出が懸念されている。パーム油生産においては、アブラヤシの重量比 90%を構成する葉、幹、房などが年間約 1 億トンの未利用バイオマスとして廃棄されている。パーム油産業の持続可能性の探究には、この 90%の未利用バイオマスをどのように有価資源として使用するかが問われているが、現在までにパーム油産業の持続可能性に資する有効な利用法は未だ手探りである。本研究課題では、パーム油産業の持続可能性を模索する取り組みの一つとして、オイルパームバイオマス由来木質成分を分解する能力を有する熱帯環境由来の微生物群の単離と解析、および単離株を使った応用研究を行った。

オイルパーム残渣からの熱帯環境由来リグニン分解微生物の単離と解析

代表的なパーム油残渣として知られているパームヤシ空果房 (Empty Fruit Bunch, EFB) とパーム製油廃液 (Palm Oil Mills Effluents, POME) の共堆肥サンプル、およびプランテーションに長期間廃棄されていた EFB からリグニン分解菌を単離した。その結果、単離株は *Stenotrophomonas* 属、*Agrobacterium* 属、*Bacillus* 属、*Paenibacillus* 属、*Streptomyces* 属と多岐にわたっており、熱帯地域における木質リグニン分解微生物の多様性を示す結果の一つであると考えられた (図 1) ^{10,11)}。得られた候補株のリグニン分解

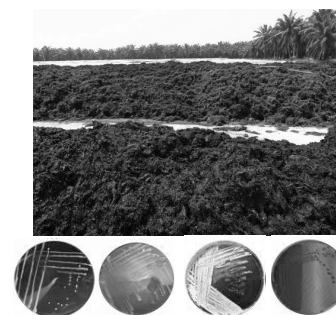


図1. パーム残渣由来の堆肥と単離したリグニン分解微生物

活性を評価したところ、全ての候補株において 4 量体以上の分子量を有するリグニン高分子を低分子化し効率的に分解できることを明らかにした⁹⁾。本研究は原核生物が 4 量体以上のリグニンの脱重合化を行うことを実験的に証明した初めての成果である。さらに、得られた候補株の全ゲノム解析を進め、単離株が示す酵素活性と既知酵素遺伝子の存在を比較した結果、既知酵素活性が得られたのにも関わらず、

ゲノム配列中には既存酵素遺伝子と相同性を示す遺伝子が存在しないことが明らかとなった^{3,7,8)}。この結果は、熱帯微生物由来リグニン特異的変換酵素を用いた各種有用物質への生産と石油材料に由来しない芳香族化合物の生産系の確立に応用できることを示唆している⁵⁾(図2)。

熱帯由来バイオマス廃棄物の有効利用法の模索

熱帯地域での再生可能エネルギー生産の確立を目指し、EFBを含めた種々の木質バイオマスを「バイオコックス」へと変換し熱力学的諸性質を決定した。得られたバイオコックスは高い密度と強度および最高到達温度を示し、ペレットよりも保管や熱源として高いポテンシャルを有していた^{4,6)}。さらに上述したリグニン分解菌を用いてEFBを前処理しバイオコックスへと変換したところ、密度や強度の上昇とともに、熱量の上昇も認められ、熱帯微生物由来酵素群を用いた前処理がバイオコックスの品質の向上に寄与することを明らかにした¹⁾。

以上、本研究では熱帯気候に属するマレーシアに多量に存在する木質バイオマスから高分子リグニンを低分子化できる原核生物を特定し、基質特異的な高分子リグニン分解酵素を初めて明らかにした。さらに効率的な再生エネルギーへの変換と品質向上に向けて単離株を用いた固形燃料への変換を試み、熱帯由来原核生物の有する酵素機能によって再生可能エネルギーの品質の向上に成功した。以上の結果は、東南アジアの熱帯地域において「多量」に「季節を問わず排出」される木質バイオマスを「廃棄物が出ない」形で再生可能エネルギーへと変換できる熱帯環境微生物が有する「特徴的な酵素」を用いたユニークな研究成果であると位置付けられ、今後の更なる解析が必要とされる。

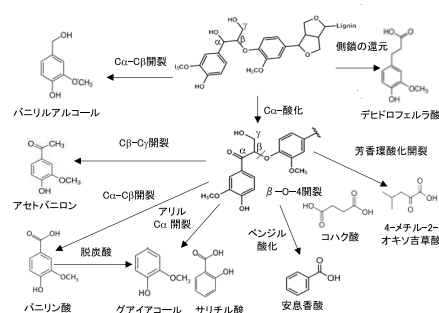


図2. 熱帯由来微生物群による推定の高分子リグニン分解経路

謝辞

本研究は、マレーシア工科大学 マレーシア日本国際工科院で進めた研究である。本研究に携わった修士、博士学生とともに、日本国内の多くの研究者に支えられマレーシアにて研究を進めることができた。この場を借りて関係の皆様に厚く御礼申し上げる。

引用文献

1. Koesoemadinata, V. C. *et al.* Bioresour. Technol. Reports, 15, 100765, (2021)
2. Ramachandran, V. *et al.* Waste Biomass Valorization., 12(8) 4253-4261, (2021)
3. Faisal, U. H. *et al.* Microbiol. Resour. Announc., 10(19) e00259-21, (2021)
4. Baharin, N. S. K. *et al.* Renew. Energ., 162, 1017-1025, (2020)
5. Ramachandran, V. *et al.* Bioresour. Technol. Reports, 11, 100456, (2020)
6. Baharin, N. S. K., *et al.* Biomass Convers. Biorefin., 1-10, (2020)
7. Riyadi, F. A. *et al.* Sci. Rep. 10(1) 1-9, (2020)
8. Yusof, N. *et al.* Microbiol. Resour. Announc., 9(5) e01332-19, (2020)
9. Azman, N. F. *et al.* Bioresour. Technol., 279(2019):174-180, (2019)
10. Tahir, A. A. *et al.* Microbes and Environ., 34(2) 161-168, (2019)
11. Krishnana, Y. *et al.* J. Clean. Prod., 146(10):94-100, (2017)