

リグニン由来化合物からバイオプラスチック原料を 大量に生産する技術を開発

森林資源化学研究領域: 荒木 拓馬、大塚 祐一郎、鈴木 悠造、中村 雅哉
長岡技術科学大学: 政井 英司、上村 直史

微生物の代謝産物である2-ピロン-4,6-ジカルボン酸 (PDC) は、生分解性や耐熱性のバイオプラスチック、そして非常に強力なエポキシ接着剤の原料として利用できる化合物です。PDCは多くのプラスチック原料とは異なり、石油化学原料から合成することが難しいため、現実的には、微生物機能を利用した発酵生産がPDCを生産する唯一の方法です。しかしながら、高濃度での発酵生産が難しいという問題があり、そのことが実用化に向けての大きな障壁となっていました。我々は、PDC生産菌の培養方法や発酵条件に改良を加え、世界で初めて実用レベルとなる高濃度(100 g/L)でのPDCの発酵生産に成功しました。

■ バイオプラスチック原料“2-ピロン-4,6-ジカルボン酸 (PDC)”

地球温暖化などの環境問題が深刻化する中で、石油系材料に替わる再生可能な新たなバイオ素材の開発が求められています。再生可能な木材には、リグニンという成分が2~3割程度含まれています。しかしリグニンは、その化学構造が非常に複雑であり、石油系の合成高分子のような使い方をするのが難しい化合物です。そこで近年では、リグニンを化学的あるいは生物的に分解し、その分解物から石油化学原料を代替する化合物を取り出して利用するなどの研究が各国で行われています。

森林総合研究所では、微生物の代謝機能を利用することで、リグニンの分解物をまとめて扱いやすい各種の単一の化合物に変換する技術の開発に取り組んでいます。その中で、生分解性や耐熱性のバイオプラスチック、あるいは非常に強力な接着剤の原料としても利用できるPDCという化合物の発酵生産にも取り組んでいます(図1)。PDCは石油化学原料から合成することが難しいため、微生物による発酵生産が唯一の製造方法です。そのために、世界各国でPDCの発酵生産研究が行われていますが、その生産量は低く、PDCの実用化に向けての大きな障壁となっていました。バイオプラスチック原料の発酵生産では、石油化学工業とコスト的に競合するために培養液1Lあたり100 g(100 g/L)以上の生産量が必要とされていますが、世界的にも、これまでの最高生産濃度は約60 g/Lにとどまっていた。

■ PDCの大量生産を目指して

私たちは代表的なリグニン分解物の一つであるバニリン酸からPDCを高効率で製造できる新たなPDC生産菌を作出しました。しかし、一般的な培養方法・発酵条件では、約20 g/LのPDCしか得られなかったことから、代謝産物を網羅的に調べるメタボローム解析*という手法を用い、発酵生産における問題点を明らかにし、そしてその改善を図ってきました。その結果、培地中で菌の栄養源となる化合物の添加量と添加時期を最適化することでPDC生産菌の高密度培養と、バニリン酸代謝活性の高効率状態の維持を同時に達成することに成功し、これまでにない高濃度でのPDC製造条件の設定に成

功しました。その結果、バニリン酸から変換効率99%、発酵生産濃度約100 g/LでPDCを実用レベルで生産することに世界で初めて成功しました(図2)。更に、培地成分のナトリウム塩をアンモニウム塩に変更することで、発酵後の培地中からPDCを効率よく抽出・精製できることも明らかにしました(図3)。

研究資金

・本研究の実施課題「木質バイオマテリアルの社会実装に向けたリグニン利用技術の開発」

参考文献・サイト

Otsuka, Y. et al. (2023) High-level production of 2-pyrone-4,6-dicarboxylic acid from vanillic acid as a lignin-related aromatic compound by metabolically engineered fermentation to realize industrial valorization processes of lignin. *Bioresource Technology*, 377:128956.

中村雅哉(他) 2-ピロン-4,6-ジカルボン酸の製造方法. 特許7392928.

専門用語

メタボローム解析: 生体内に含まれるアミノ酸、有機酸、脂肪酸などの代謝物質の種類や濃度を網羅的に分析する手法です。

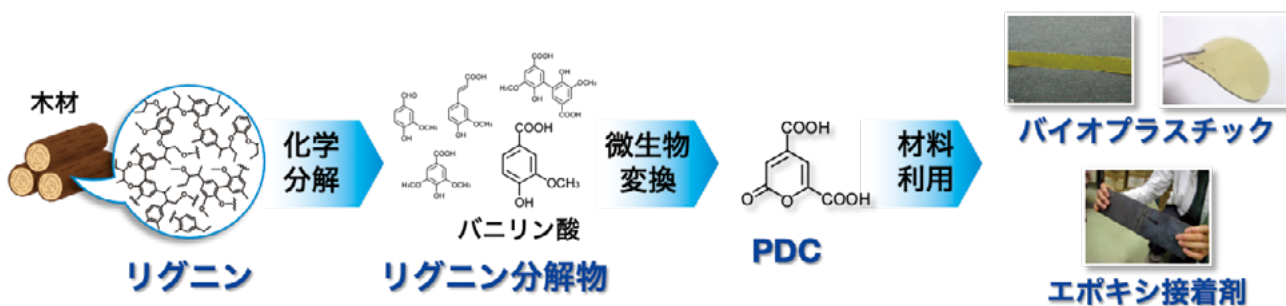


図1 微生物機能を活用したリグニン利用のコンセプト

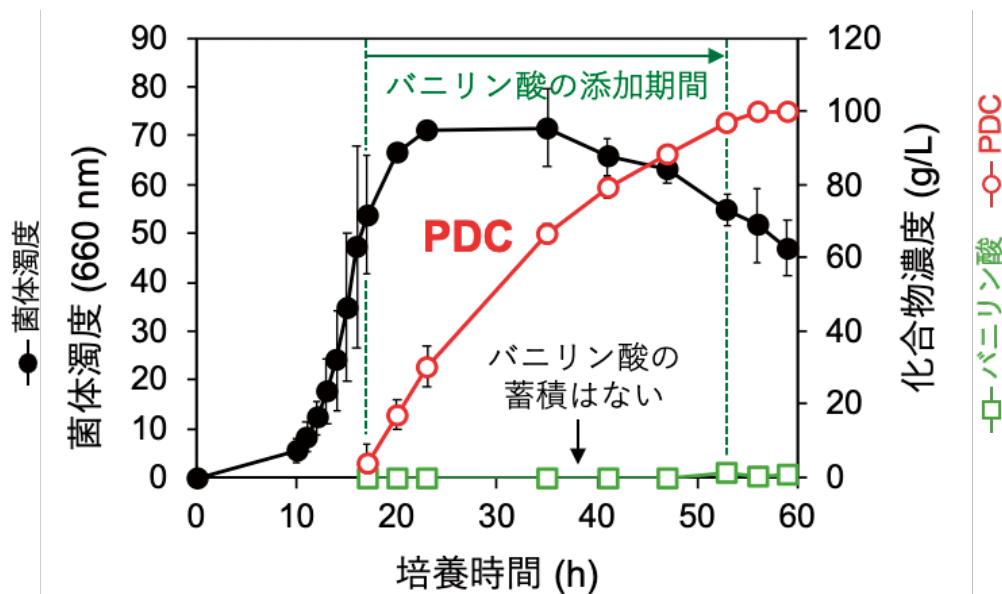


図2 バニリン酸からのPDCの大量生産

培養初期にPDC生産菌の密度を高め、PDC生産菌を高密度に維持した状態でバニリン酸（原料）を逐次添加することでPDCへの代謝活性も同時に高い状態に維持することに成功しました（波長660 nmの光の透過度で測定した濁度をPDC生産菌の密度の目安としました）。

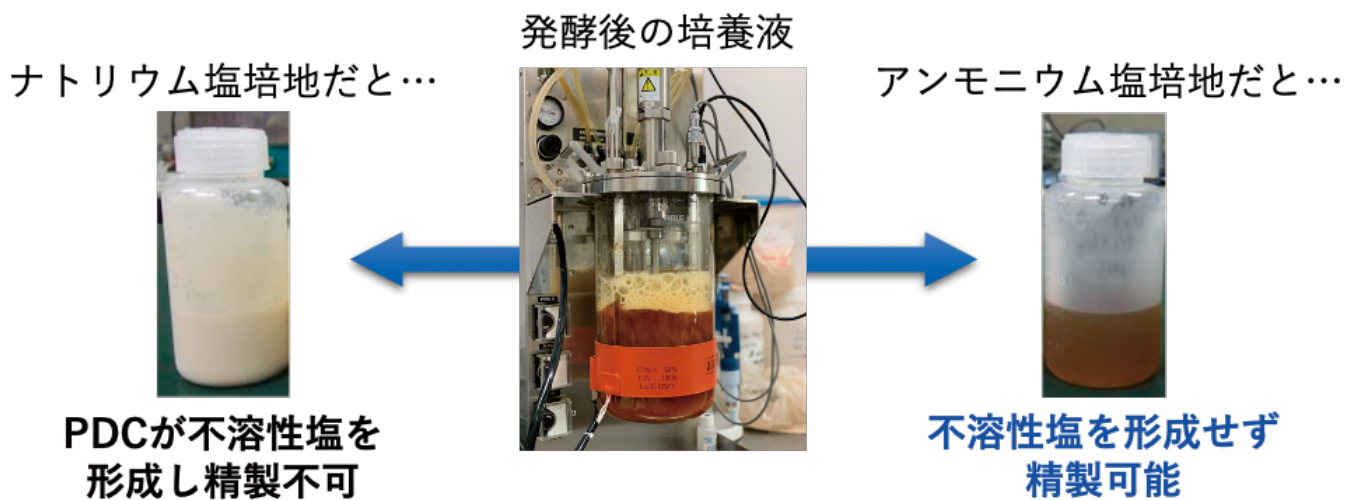


図3 発酵後の培養液からのPDCの精製

発酵後の培養液を酸処理するとナトリウム塩を含む培地ではPDCが不溶性の塩を形成してしまい精製が困難ですが、アンモニウム塩を含む培地に変更すると不溶性塩は形成されず容易に精製が可能です。