

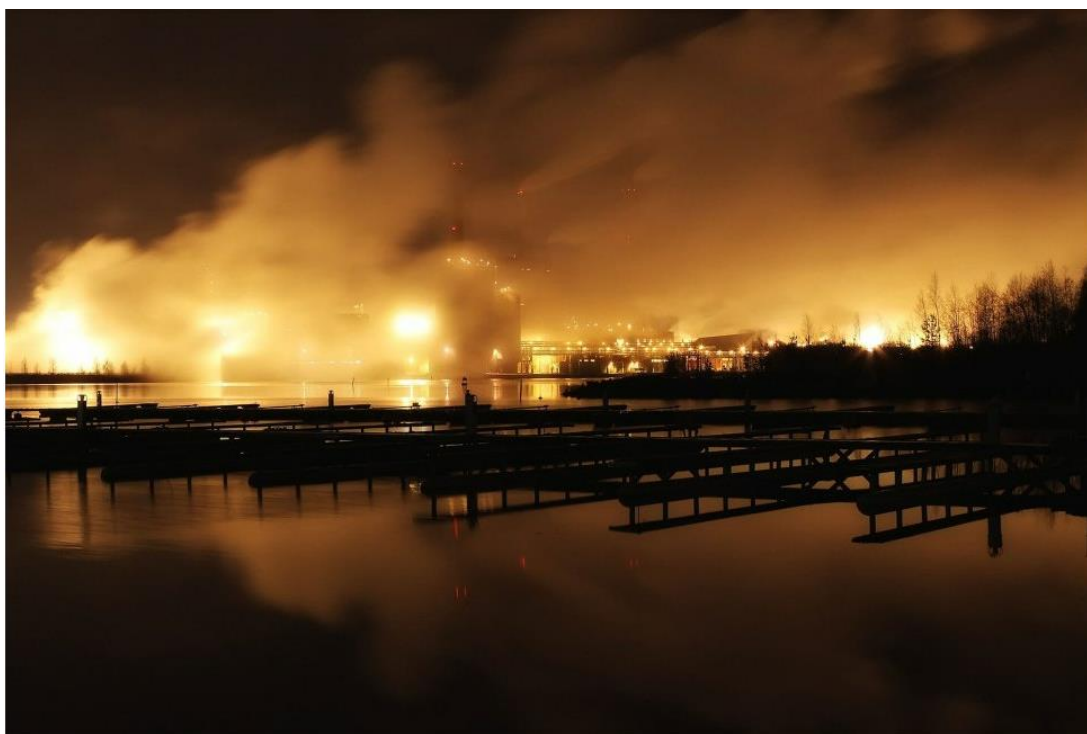
【バイオテクノロジー分野】

仮訳

微生物燃料電池の利用で植物の強靱な廃棄物をアップサイクル(米国) 有機廃棄物を栄養素や医療用の抗酸化フラボノイドに変換

2023年1月30日

[Amanda Morris](#)



(この写真のような)製紙工場は、植物の構造を支える繊維質材料のリグニンを最も大量に廃棄する。

自然によるリグニン(植物に強靱な構造を付与する繊維質である木質物質)の設計には抜かりがなかった。リグニンの分解にはとてつもなく時間がかかり、細菌や腐敗に強く、極めて頑丈で長持ちする。

となると、農地や醸造所、製紙工場から排出されるリグニン廃棄物はどうなるのだろうか。そのほとんどは燃やされたり埋められたりして汚染を引き起こしており、再生可能な資源を浪費している。

ノースウェスタン大学の研究者たちは、リグニンを含んだ有機炭素廃棄物をアップサイクルできる、持続可能で安価な 2 段階プロセスを開発した。微生物で駆動するバイオリファイナリーで廃棄物を処理することで、高価値で植物由来の医薬品や抗酸化性の機能性食品に利用できる炭素源に加え、薬物や化学物質を送達する炭素ベースのナノ粒子へとリグニンを変換する。

[本研究は、学術誌 ACS Sustainable Chemistry and Engineering の 1 月号](#)の表紙を飾っている。

本研究を率いたノースウェスタン大学の [Kimberly Gray](#) 教授は、「リグニンには非常に素晴らしい価値があるのですが、もともとは廃棄物とみなされています。」と言う。「リグニンはバイオマスの 20~30%を構成していて、そのエネルギーの 40%を占めています。大量のエネルギーですが、この未利用エネルギー源の利用は難しいのです。リグニンは強靱で加工しにくいいため、利用方法がわかっておらず、数十年にわたってこの問題の解決が試みられています。今回、私たちは製油所のプロセスをテンプレートとして利用し、廃棄物から高価値製品を生産するバイオリファイナリーを開発しました」。

ノースウェスタン大学マコーミック工学部の土木環境工学の Gray 教授は、[Roxelyn and Richard Pepper Family Chair in Civil and Environmental Engineering](#) でもある。

自然の建築材料

世界で最も豊富に存在する有機高分子の一つであるリグニンは、すべての維管束植物に含まれ、植物の細胞壁の間にあって樹木のような頑丈な植物の構造を支えている。リグニンが無くては、木質部や樹皮は弱すぎて樹木を支えられない。木造の家や家具は崩壊してしまうだろう。

しかし、製紙業や醸造業など、植物を利用するほとんどの産業においてリグニンは排除され、糖の一種であるセルロースを残している。そして、自然界の超強靱な物質のリグニンを安価な燃料として燃やしている。

「誰もがリグニンを取り除いて糖を取り出したいのです」と Gray 教授は言う。「セルロースを発酵させてアルコールを作ったり、パルプを作るために加工したりしています。リグニンはどうなるのかというと、低品質の燃料として燃やされて無駄になって

いるのです」。

微生物燃料電池

リグニンを含む炭素廃棄物を分解するバイオリファイナリーの開発に向け、研究者たちはまず微生物電解セル (MEC) を作製した。MEC は Fuel Cell (燃料電池) と同様に、アノードとカソードの間でエネルギーを交換する。しかし、この MEC のアノードは、金属ベースのアノードではなく、エキソエレクトロゲンから成るバイオアノードを使用している。エキソエレクトロゲンとは、有機物を分解することで電気エネルギーを自然に生成する微生物のことである。

「ここでは、微生物が触媒として機能します」と、本研究論文の共著者でマコーミクの土木環境工学の [George Wells](#) 准教授は説明する。「多くの場合非常に高価で高温を必要とする化学触媒の代わりに、生物を触媒として使用しています」。

「誰もがリグニンを取り除いて糖を取り出したいのです。セルロースを発酵させてアルコールを作ったり、パルプを作るために加工したりしています。リグニンはどうなるのかというと、低品質の燃料として燃やされて無駄になっているのです」。

— *Kimberly Gray* 教授

MEC の優れた点は、人間、農業、工業由来のあらゆる種類の有機廃棄物を処理できることである。MEC では、廃棄物を大量に含んだ廃水を微生物を通じて循環させ、微生物に炭素を処理させる。微生物は有機炭素を二酸化炭素に分解し、自然に電子を吐き出す。このプロセスでは、電子がこのバイオアノードからカソード (炭素布製) に移動し、そこで酸素を還元して水を生成する。このプロセスでプロトンが消費され、水の pH が上昇して苛性溶液に変わる。苛性溶液は廃水処理など、あらゆる用途に利用できる。

「このプロセスのもう一つの利点は、廃水を効果的に処理して有害な有機炭素を除去できることです」と Wells 准教授は言う。「そのため、主要な製品はきれいな水です」。

しかし、研究者たちは苛性溶液を選び、リグニンに注目した。リグニン化合物は芳香族炭素の複雑な鎖を含んでいて、6 つの炭素原子の環を形成する特殊な結合パターンを持っているため耐久性がある。各芳香環は二重結合と単結合の交互で構成され、これを分解するのは極めて難しい。

「壊れない」結合を壊す

しかし、研究者たちがリグニンをバイオベースの苛性化学物質にさらすと、リグニンのポリマーは芳香環を保持したまま分解された。リグニンの約 17%がフラボノイドと呼ばれる炭素環に変換された。フラボノイドは抗酸化物質に富む植物栄養素で、サプリメントに頻繁に使用される。医薬品化学で一般的に使用されている炭素環は、安価な医薬品やサプリメントを作るための植物由来の持続可能な前駆体として使用することができる。

「ポリマーを分解し、炭素環を選択的に残すのです」と Gray 教授は言う。「この炭素環を確保できれば、高価値の材料を作ることができます。一般的に触媒は化合物全体を分解しますが、その後に炭素環を再構築しなければなりません。私たちは今回、高価値の構造を保持する選択的な分解に成功したのです」。

17%

新開発のプロセスで抗酸化フラボノイドに転換されるリグニンの割合

処理されたリグニンの残りの部分（約 80%）は炭素ベースのナノ粒子となり、人間での標的薬物送達や植物での標的栄養素送達のための物質の包含に使用できる。このナノ粒子は、日焼け止めや化粧品の持続可能な植物由来の代替品を提供する可能性もある。

「複数の廃棄物ストリームでの持続可能な資源回収経路の特定と研究は、非常に興味深いものです」と Wells 教授は言う。「大量の廃水とリグニンのストリームがあり、それらをそのまま処理するには費用がかかります。私たちは、それらの廃棄物を価値の源泉として捉え直そうとしているのです」。

有害化学物質を使用しない資源回収

リグニンの処理に市販の苛性物質を使用することもできたが、彼らの MEC ベースのアプローチには多くの利点がある。第一に、グリーンバイオベースの化学物質の方がより優れている。第二に、より安全で安価であり、常温・常圧下で使用でき、必要なとき（ポイント・オブ・ニード）に化学物質を生成できる。

「多くの産業プロセスや排水処理で一般的に使用されている水酸化ナトリウムのように、様々な苛性化物質があります。しかし、有毒化学物質を大量に輸送し保管する必要があります。これは高コストなだけでなく、公衆衛生上の危険性があります。廃棄物からオンサイトで化学物質を生成する方がずっと安全で持続可能です。大量の有害化学物質の出荷や保管が不要となり、サプライチェーンや輸送トラックの時間通りの到着にも頼ることなく、必要なときにすぐに現場で化学物質を生成できる柔軟性と適応性をもたらします」と Wells 教授は説明する。

本研究「Valorization of lignin under mild conditions: Biorefining flavonoids and lignin nanoparticles」は、マコーミック工学部の Finite Earth Initiative の支援を受けた。

訳：NEDO（担当 技術戦略研究センター）

出典：本資料は、ノースウェスタン大学の記事 “Biorefinery uses microbial fuel cell to upcycle resistant plant waste”

(<https://news.northwestern.edu/stories/2023/01/biorefinery-uses-microbial-fuel-cell-to-upcycle-resistant-plant-waste/>) を翻訳したものである。

(Reprinted with permission of Northwestern University)