

研究成果最適展開支援プログラム A-STEP
企業主導フェーズ NexTEP-B タイプ
事後評価報告書

- 開発実施企業 : フタムラ化学株式会社
- 代表研究者 : 東京工業大学 科学技術創成研究院フロンティア材料研究所
教授 原 亨和
- 研究開発課題名 : 機能性糖類の革新的生産技術

1. 開発の目的

植物に含まれるセルロース等の成分は、酵素や酸を触媒にして加水分解され、多くの種類のオリゴ糖に、さらに分解されてブドウ糖（グルコース）など多種の単糖類を生成することが知られている。開発企業は、代表研究者らが開発した、活性炭にスルホ基（-SO₃H）を導入（スルホン化）してできたカーボン固体酸が、液体の酸と同様の触媒機能を持ち、コーヒー抽出後に残るコーヒー滓から、単糖の一種でその生理活性が報告されているマンノースを効率よく生成できることを見出した。

マンノースの生理活性は、従来から知られてきた細菌の感染阻害等の効用に加え、近年、腫瘍の増殖抑制、若年期での過剰な脂肪蓄積抑制等の生理機能を示唆する報告があり注目されている。しかしながら、従来の製造方法で得られるマンノースは、コンニャクイモ等の食材等の原料から酵素反応を用いて製造していて、同時に生成される数種類の糖類からマンノースを分離する工程を経るため、長時間、厳密な工程管理が必要となり高価な製品となっている。

このため、本開発では、触媒としてカーボン固体酸を用いることで、より容易に、またこれまで廃棄されてきた植物バイオマスであるコーヒー滓から、マンノースを高効率に量産する技術を確立することを目指した。

2. 開発の概要

本技術では、水中でコーヒー滓がカーボン固体酸に接触する際に加水分解反応が進む。そのため化学反応の諸条件に加えて、粒子の接触頻度に関わる、粒径、混合比率、攪拌量等についての検討が必要となった。本開発ではラボスケール（5mL 試験管）、小規模反応装置（50L 規模）と反応規模を拡大しながら条件を絞り込み、得られた条件をもとにして目標とした開発規模にあたるパイロットプラント（1000L 規模）を設計、構築し、再現性のあるマンノース生産工程を確立実証した。

ラボスケール（5mL 試験管）の実験では、攪拌と温度条件を分けて最適な条件を探した。まず大気圧での実験が可能な 100℃で、コーヒー滓と固体酸の粒径、触媒量、加水量、攪拌量の条件を変化させながら、一定時間ごとのマンノース生成量（以降、生成されるマンノース量をコーヒー滓の乾燥重量に対する粉末マンノース重量の割合に換算して「収率」と呼ぶ）を確認した。この結果から固体酸の粒径、触媒と水の混合比率を決めた。収率は攪拌量が大きいくれ増加するが、その収率の時間推移にはピークが存在することが確認できた。反応温度については、装置の制約で 100℃以上では十分な攪拌ができない状態ではあったが、120℃、140℃と反応温度が高い程ピークの時間が早くなり、収率も高いことを確認した。

以上を通して、ラボスケールにおいてコーヒー滓の乾燥重量に対して最大 19.1%の収率が得られて開発目標の収率 18%を上回り、またスケールアップ時の実験装置（小規模反応装置）で実施すべき実験条件の範囲が明らかになった。一方で、反応溶液を分析したところ、マンノース成分中に、同じ構造の立体異性体の単糖で水酸基の向き（配向）が違うだけのガラクトースが約 26%含まれていることが判明した。対策を検討し、両糖の弱酸での加水分解速度の差を利用することで、ほぼ完全にガラクトースを除去する技術を開発した。しかし同時にマンノースも分解を受けるため、製品時点で求められる純度・収率に合わせてガラクトース除去率を調整することで解決策を得た。

次に、本開発の目的であるパイロットプラントへのスケールアップに向けて50L規模の攪拌翼を備えた小規模反応装置を開発した。市販の反応容器をベースに設計したため、試験管での反応を十分に再現することができず、この装置でのマンノースの最大収率は16.4%となり、収率目標18%に達しなかった。しかし、この装置での実験は再現性が高く、マンノース収率を最大化する反応条件や反応時間の予測が可能になり、効率的に反応最適化を検討するための反応温度の範囲や攪拌量の目標が明確になった。そこで、これを踏まえて、次のマンノース粉末の連続生産を見通すためのパイロットプラントの構成と仕様を設計した。パイロットプラントとして、これまでに得た結果とノウハウを生かし、十分な反応温度範囲と攪拌力を持った容量1000Lの反応装置を開発し、また収率は目標の18%を超える19.2%を達成した。

また、原料コーヒー滓の乾燥・粉碎から、前処理（ガラクトース除去）、マンノース糖液の生成、精製分離（雑糖類の除去）、粉末化の全工程において、14kg/日規模で粉末形状のマンノースが継続的に生産できることを確認し、得られたマンノース粉末の純度は、目標に設定した68%を超える85%を得た。さらに、第三者機関による分析で、得られたマンノースに食品として問題になる不純物が含まれていないことを確認した。

3. 総合所見

未利用バイオマスであるコーヒー滓から、機能性糖類のマンノースを抽出する技術の実用化を進め、構築したパイロットプラントでのマンノースの収率、純度等は目標を上回る成果を得た。

本開発においては、途中、最適な反応条件が見いだせない、などの問題に苦しんだが、開発企業は複数の専門委員の知見を求めると手尽くした。その結果、関係者の努力もあり、予想を上回る成果に繋がったと考える。一方で本開発では、カーボン固体酸の回収・再利用については課題を残していることから、触媒の効率的な活用に向けてはさらなる改良と発展が望まれる。今後、マンノースの機能性を生かした商品を創出し、国内外の市場に向けた事業展開を進めることを期待する。

以上により、本開発は目標を上回る成果が得られ、事業化に至る可能性がある、と評価する。

以上