

## マルトトリオシル転移酵素の開発とその産業利用

天野エンザイム株式会社 岐阜研究所  
産業用酵素開発部 岡田 正通

### 【略歴】

1993年3月 静岡大学農学部応用生物化学科卒業  
1995年3月 静岡大学大学院農学研究科修士課程修了  
同年4月 天野製薬株式会社（現、天野エンザイム株式会社）入社  
現職 同 産業用酵素開発部 酵素開発チームリーダー

### 1. はじめに

一般的にグリコシダーゼはグリコシド結合を分解する加水分解活性だけでなく、基質から遊離した糖を他の糖分子へ転移する糖転移活性の両方を持っており、その糖転移反応は機能性オリゴ糖、デキストリンの製造に利用されている。具体的なグリコシダーゼとしては、 $\alpha$ -グルコシダーゼ（イソマルトオリゴ糖、ニゲロオリゴ糖）、 $\beta$ -フラクトフラノシダーゼ（フラクトオリゴ糖、ラクトスクロース）、 $\beta$ -ガラクトシダーゼ（ガラクトオリゴ糖）、 $\alpha$ -グルコシルトランスフェラーゼ（パラチノース）、シクロデキストリングルカノトランスフェラーゼ（シクロデキストリン、カップリングシュガー）、ブランチングエンザイム（高分岐環状デキストリンの製造）、等が知られている。

一方でグリコシダーゼは澱粉を含む加工食品の製造にも利用されている。食品の保存において、その成分である澱粉の老化抑制は大きな課題である。澱粉の老化は、それを構成する直鎖分子のアミロース同士の会合による不溶化から始まると考えられている。現在、澱粉の老化抑制のために、直鎖構造を加水分解する $\alpha$ -アミラーゼ、 $\beta$ -アミラーゼ、 $\alpha$ -グルコシダーゼが利用されている。

天野エンザイムでは、新たな澱粉に作用する食品加工用酵素を自社保存微生物菌株からスクリーニングし、澱粉直鎖構造に作用し、マルトトリオース単位の糖転移反応を触媒するユニークな酵素を見出した。本酵素は“グライコトランスフェラーゼ「アマノ」L”として製品化された。本講演では本酵素の特性とその使用例について紹介する。

### 2. マルトトリオシル転移酵素の性質

我々は自社保存菌株培養液をマルトデキストリンに作用させ、幅広く特徴的な生成物が得られる菌株の探索を行った。その結果、*Aeribacillus* 属の一菌株がマルトトリオース単位の糖転移反応を触媒する耐熱性酵素を生産することを見出した。

本酵素の温度安定性は65°Cまで安定であった。食糧植物澱粉の糊化開始温度より高温で安定であり、食品加工において有用な耐熱性を有していた。至適pHは7.5、pH5.0~10.0の広範囲で安定であった。

本酵素をコードする遺伝子はシグナル配列を含めて767アミノ酸のタンパク質をコードしており、成熟酵素は733アミノ酸からなる分子量81.8kDaの単量体として分泌生産される。X線結晶構造解析の結果より、本酵素は*Geobacillus* 属シクロデキストリングルカノトランスフェラーゼと類似した構造を持ち、 $(\alpha/\beta)_8$ バレルからなる触媒ドメインのC末端側に3つの付加ドメインを有し、分子中に8個のカルシウム結合サイトを有していた。活性中心はAsp269, Glu299, Asp371であると推定される。C末側にはStarch binding domainを有していた。

本酵素はマルトース、マルトトリオース、 $\alpha$ -、 $\beta$ -、 $\gamma$ -シクロデキストリンに対して作用しなかったが、マルトテトラオース以上のマルトオリゴ糖、マルトデキストリン、アミロース、アミロペクチンには良く作用した。

### 3. 食品加工への利用

#### 1) 澱粉加工食品の老化防止

前述のように澱粉加工食品の保存において老化抑制は大きな課題であり、その目的のためにいくつかの酵素剤が利用されている。餅菓子の製造に利用されている大豆由来β-アミラーゼはその一例である。この酵素のメリットは他起源のβ-アミラーゼと比較して耐熱性が高いことが挙げられるが、これでもなお、酵素添加は蒸し工程の後、生地を70℃程度まで冷却した後に行われており、手間のかかる工程となっている。

本酵素は大豆由来β-アミラーゼよりも耐熱性が高いため、蒸し工程の前、上新粉など他の原料と同時に投入することができ、省力化が可能である。図1は蒸し工程前に酵素添加した餅のソフトネス維持効果を比較したものである。本酵素添加区(GTase)は大豆β-アミラーゼ添加区とは異なり、ソフトネスが維持されていた。

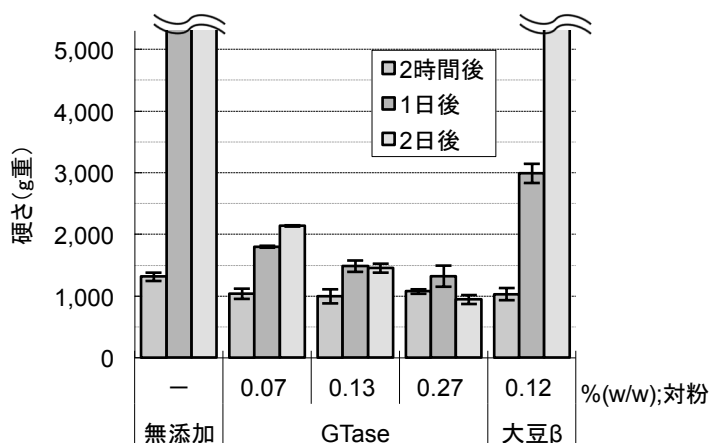


図1、餅のソフトネス維持効果 (5℃保存)

※GTase：グライコトランスフェラーゼ「アマノ」L

#### 2) 白濁し難い液状デキストリンの製造

液状デキストリンは澱粉を加水分解して製造され、食品の“ツヤだし”“コク味付与”“粉末化基材”などに利用されており、特に最近では流動食などへの利用のため、分解度の低い製品が求められている。しかし液状デキストリンは低分解度のもの程、長期間放置すると老化して白濁し易いという課題があった。

図2の①に示すように、30%(w/w)マルトデキストリン溶液は老化のため、保存後2週間で白色沈殿を生じた。一方、本酵素処理区では分解度がほとんど変化していないにもかかわらず、白色沈殿を生じずに透明を維持していた。

※DE (デキストロス当量) は糖化の程度を示す指標。DEが低い程、澱粉からの分解度が低いことを示す。

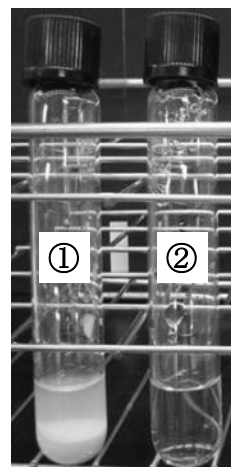


図2、本酵素処理デキストリンの耐老化性

①：対照区 (マルトデキストリン (DE9.1))

②：本酵素処理区 (DE9.6)

### 4. まとめ

本研究では好熱性細菌より耐熱性の高いマルトトリオンル転移酵素を見出した。本酵素を澱粉加工食品や液状デキストリンの製造に利用することで、澱粉や澱粉分解物の老化を抑制することにより、保存中の品質保持に寄与することが明らかとなった。

澱粉の老化抑制は微生物制御と並び、食品の賞味期限を決定する主要な因子である。食品ロスや食品廃棄物の発生は、特に先進国において社会問題となっており、これらの削減に関して食品添加物、特に酵素に対する期待は大きいと感じられる。今後、本酵素の特長を生かした新しい用途開発が発展することともに、新たな酵素が開発され、食品産業の発展に貢献することを期待する。