

# プルラナーゼ酵素液：グルコースシロップ・マルトースシロップ製造における澱粉加水分解用脱分岐酵素

Enzymes.bio リサーチチーム · ニュージーランド · ウェリントン · June 18, 2026

プルラナーゼ酵素液は、澱粉糖化工程でアミロペクチン由来の  $\alpha$ -1,6分岐結合を切断し、グルコアミラーゼや  $\beta$ -アミラーゼが作用しやすい直鎖状デキストリンを増やすために使われます。グルコースシロップでは分岐限界デキストリンの低減と糖化進行の支援、マルトースシロップではマルトース生成酵素が利用できる基質領域の拡大が主な役割です。Enzymes.bioは本製品の供給業者であり、製品は1kg単位でオンラインから直接購入でき、注文時にCoAおよびSDSが併せて提供されます。

## 製品の位置づけ：澱粉糖化工程で使う液体プルラナーゼ

### Pullulanase Enzyme Liquid For Starch Hydrolysis In Glucose And Maltose Syrup Production

は、澱粉由来の分岐デキストリンを処理するための液体タイプのプルラナーゼです。プルラナーゼは、プルラン、アミロペクチン、分岐オリゴ糖などに含まれる  $\alpha$ -1,6-グリコシド結合を加水分解する脱分岐酵素として知られ、食品産業では澱粉加工、シロップ製造、糖組成制御、耐性澱粉形成など複数の用途で研究・利用されています<sup>[1]</sup>。

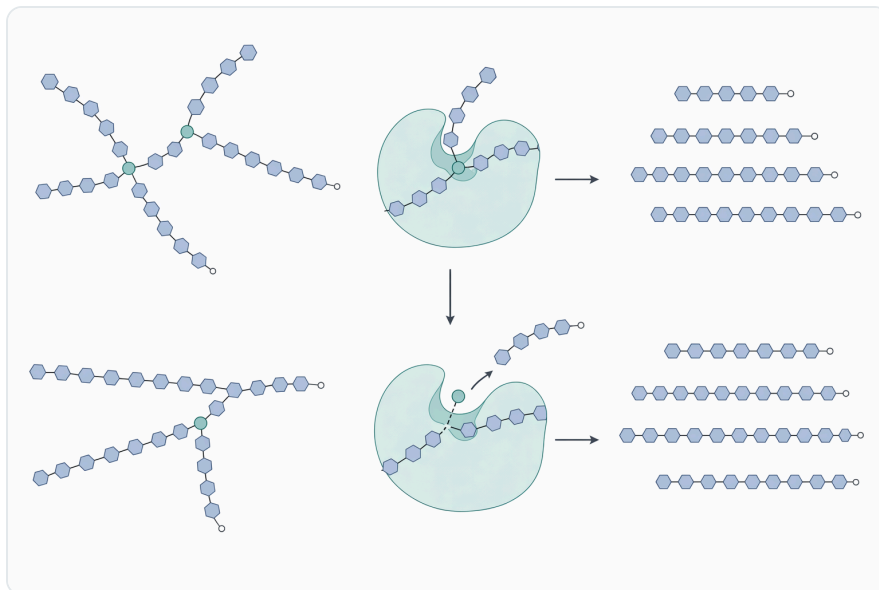
澱粉糖化で重要なのは、プルラナーゼが「澱粉を単独でグルコースやマルトースへ完全変換する酵素」ではなく、分岐点を切って他の糖化酵素の作用範囲を広げる酵素だという点です。液化工程で  $\alpha$ -アミラーゼにより澱粉を低分子化した後、糖化工程でグルコアミラーゼ、 $\beta$ -アミラーゼ、マルトース生成型酵素と組み合わせることで、残存する  $\alpha$ -1,6分岐構造を処理しやすくなります<sup>[2]</sup>。

Enzymes.bioは本製品の製造業者または研究機関ではなく、B2B向けに酵素製品をオンラインで供給する立場です。本製品は1kg単位でオンライン購入でき、注文処理に合わせてCoAとSDSが提供されるため、澱粉加工、糖化、食品加工、発酵原料用糖液の工程検討に組み込みやすい供給形態になっています。

## 澱粉糖化で分岐構造が問題になる理由

澱粉は主に、直鎖状のアミロースと、分岐状のアミロペクチンから構成されます。アミロースは主に $\alpha$ -1,4結合で連結したグルコース鎖であるのに対し、アミロペクチンは $\alpha$ -1,4結合の鎖に $\alpha$ -1,6結合による分岐点が多数存在するため、酵素がどの結合を切れるかによって糖化の到達点が変わります。トウモロコシ由来アミロペクチン澱粉に対するプルラーナーゼ作用を扱った研究でも、プルラーナーゼ処理はアミロペクチンの分岐構造を変化させる処理として検討されています<sup>[3]</sup>。

$\alpha$ -アミラーゼは主に $\alpha$ -1,4結合を内部から切断し、液化によって高粘度の澱粉糊をデキストリンへ低分子化します。しかし、 $\alpha$ -アミラーゼだけでは $\alpha$ -1,6分岐点を効率よく除去できないため、アミロペクチン由来の分岐デキストリンが残りやすくなります。この残存分岐構造が、後段の糖化でグルコースやマルトースへの変換を妨げる「限界デキストリン」として現れます<sup>[4]</sup>。



**Figure 1.** 풀라나아제는 아밀로펙틴 유래 덱스트린의  $\alpha$ -1,6 분지 결합을 절단하여, 이후 가수분해에 더 적합한 선형 글루칸 사슬을 생성합니다.

グルコアミラーゼは非還元末端からグルコースを順次遊離しますが、分岐点付近では反応が遅くなります。 $\beta$ -アミラーゼも非還元末端からマルトース単位を切り出しますが、 $\alpha$ -1,6分岐を越えて進行しにくいいため、枝分かれが多い基質ではマルトース生成の有効範囲が制限されます。プルラーナーゼによる脱分岐は、この構造的な行き止まりを減らす操作として機能します<sup>[1]</sup>。

## 作用機序： $\alpha$ -1,6結合を切ることで糖化酵素の作用点を増やす

プルラーナーゼの中心的な働きは、アミロペクチンや分岐デキストリンの $\alpha$ -1,6-グリコシド結合を加水分解し、枝分かれた糖鎖をより直鎖的な構造へ変えることです。これにより、非還元末端の数や、糖化酵素がアクセスできる直鎖領域が増えます。馬鈴薯澱粉の部分脱分岐に関する研究では、

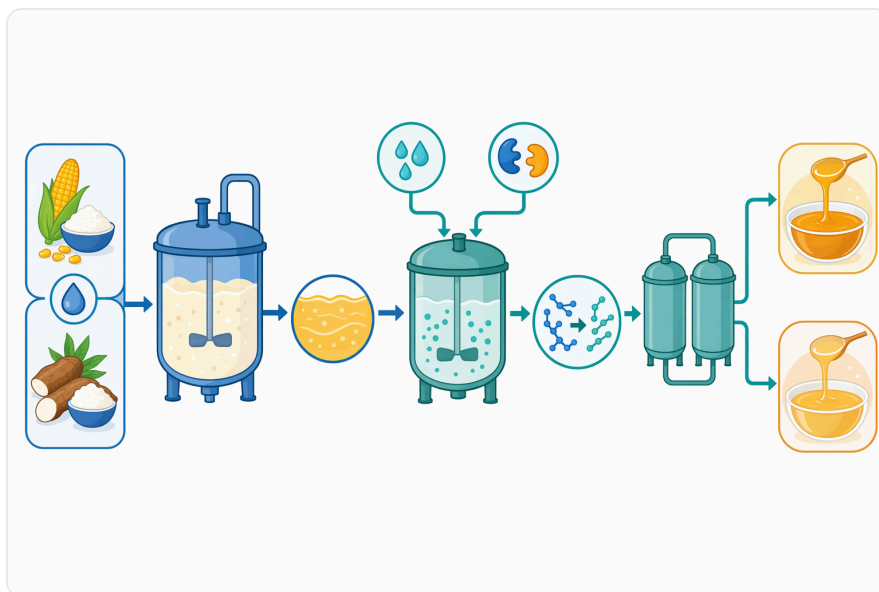
プルラーゼ処理が顆粒澱粉の構造と物性を変える手段として扱われており、脱分岐が澱粉構造改変の具体的な操作であることが示されています<sup>[5]</sup>。

この作用を工程上の言葉に置き換えると、プルラーゼは「糖を直接増やす主役」ではなく「糖化しやすい基質へ整える酵素」です。グルコースシロップではグルコアミラーゼの反応可能点を増やし、マルトースシロップでは $\beta$ -アミラーゼまたはマルトース生成型酵素が直鎖領域からマルトースを切り出しやすくします。微生物酵素が食品産業で用いられる理由の一つは、このように化学的に似た結合の中から特定の結合を選択的に処理できる点にあります<sup>[2]</sup>。

澱粉基質の分解性は、結合の種類だけでなく、糊化状態、老化、脂質との複合化、結晶性、顆粒表面への酵素アクセス性にも影響されます。たとえば甘藷澱粉をプルラーゼで加水分解して消化性の異なる澱粉画分を形成する研究では、プルラーゼ処理が澱粉の消化挙動や構造変化と結びついて検討されています<sup>[6]</sup>。

## 澱粉糖化で使われる主要酵素との役割比較

澱粉糖化工程では、単一酵素で全ての変換を担うのではなく、液化、脱分岐、糖化の各段階で役割の異なる酵素を組み合わせます。プルラーゼの有効性は、他の酵素の弱点を補う位置づけを理解すると明確になります<sup>[4]</sup>。



**Figure 2.** 전분 시럽 공정에서 풀룰라나아제는 일반적으로 호화와 액화 이후 단계에 투입되며, 이때 용해된 분자 덱스트린이 탈분지와 당화에 이용될 수 있습니다.

酵素	主に作用する結合・部位	工程上の主な役割	分岐構造に対する限界	プルラナーゼとの関係
$\alpha$ -アミラーゼ	主に $\alpha$ -1,4結合	液化、粘度低下、デキストリン化	$\alpha$ -1,6分岐点は残りやすい	液化後に残る分岐デキストリンをプルラナーゼが処理しやすくする
グルコアミラーゼ	非還元末端から主にグルコースを遊離	グルコースシロップの糖化	分岐点付近で反応が制限される	脱分岐により非還元末端と直鎖領域を増やし、糖化進行を支援
$\beta$ -アミラーゼ	非還元末端からマルトースを遊離	マルトースシロップ、高マルトース糖液	分岐点を越えにくい	脱分岐によりマルトース生成可能な鎖長を増やす
プルラナーゼ	$\alpha$ -1,6分岐結合	脱分岐、限界デキストリン低減	$\alpha$ -1,4結合の大規模な糖化は主目的ではない	他の糖化酵素の作用範囲を拡大する補助的中核酵素

この比較から分かるように、プルラナーゼは $\alpha$ -アミラーゼ、グルコアミラーゼ、 $\beta$ -アミラーゼの代替ではありません。むしろ、液化後に残るアミロペクチン由来の分岐点を処理し、糖化酵素が本来の基質特異性を発揮しやすい状態を作るための酵素です。プルラナーゼの食品産業用途を概説したレビューでも、澱粉加工における脱分岐機能は主要な利用領域の一つとして整理されています[1]。

## グルコースシロップ製造での実務的な意味

グルコースシロップ製造では、液化澱粉をグルコアミラーゼで糖化し、グルコース比率の高い糖液へ近づけることが工程上の目標になります。このとき、アミロペクチン由来の $\alpha$ -1,6分岐が多く残ると、グルコアミラーゼが非還元末端から進行しても分岐点付近で反応速度が落ち、分岐限界デキストリンが残りやすくなります。プルラナーゼはこの分岐点を切断し、グルコアミラーゼが処理できる直鎖状基質を増やします[3]。

プルラナーゼを併用する利点は、単に反応を速く見せることではなく、反応が止まりやすい構造を減らすことにあります。分岐デキストリンが少なくなるほど、グルコアミラーゼが利用できる非還元末端が増え、糖化の進行がより均一になりやすくなります。これは、最終糖液のデキストリン残存、粘度、ろ過性、濃縮時の挙動、甘味や発酵性の設計に関係します[2]。

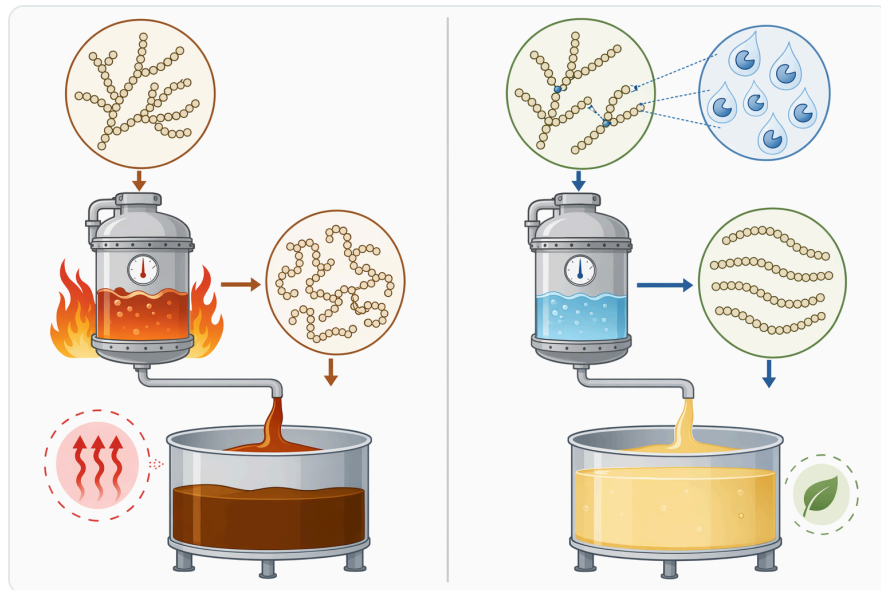
ただし、グルコース生成の主反応を担うのはグルコアミラーゼであり、プルラナーゼはその前提条件を改善する酵素として理解する必要があります。原料がトウモロコシ澱粉、タピオカ澱粉、小麦澱粉、馬鈴薯澱粉のいずれであっても、アミロペクチン分岐の処理という考え方は共通しますが、

実際の効果は液化状態、固形分、pH、温度、併用酵素、反応時間に左右されます<sup>[5]</sup>。

## マルトースシロップ製造での役割

マルトースシロップでは、澱粉を完全にグルコースへ分解するのではなく、マルトースを主成分とする糖組成へ誘導することが目的になります。 $\beta$ -アミラーゼやマルトース生成型酵素は、非還元末端からマルトース単位を切り出すため、十分な直鎖領域があるほど作用しやすくなります。一方で、 $\alpha$ -1,6分岐点が残ると反応がそこで制限され、マルトースとして回収できないデキストリン画分が増えます<sup>[1]</sup>。

プルラーゼによる脱分岐は、マルトース生成酵素が進行できる鎖を増やすため、高マルトースシロップや発酵用途糖液の糖組成制御に役立ちます。ここで重要なのは、プルラーゼがマルトースを直接大量に生成する酵素ではなく、マルトース生成のための基質を作る酵素だという点です。したがって、工程設計ではマルトース生成酵素との組み合わせが前提になります<sup>[4]</sup>。



**Figure 3.**  $\alpha$ -アミラーゼ, 풀물라나아제, 글루코아밀라아제, 말토스 생성 효소는 전분의 서로 다른 구조적 특징에 작용하므로 시럽 생산에서 상호 보완적인 역할을 합니다.

マルトースシロップでは、糖組成が甘味、浸透圧、発酵性、褐変性、粘度、結晶化挙動に影響します。プルラーゼで分岐限界デキストリンを減らすことは、目的糖組成へ近づけるための構造的な補助になりますが、最終的な糖比率は原料澱粉の種類、液化度、酵素の組み合わせ、反応停止のタイミングによって決まります<sup>[7]</sup>。

## 液体製剤として糖化工程へ組み込むときの考え方

---

液体タイプのプルラナーゼは、澱粉スラリーの液化後、糖化工程の開始時または糖化酵素との併用段階で組み込まれることが多い酵素です。液化が不十分で高粘度のままでは、酵素と基質の接触が制限されやすく、反対に過度な分解で糖鎖が短くなりすぎると、マルトース生成などの糖組成設計に影響します。澱粉の酵素処理では、基質構造と処理条件が最終的な澱粉・糖プロファイルを左右することが、豆類由来飲料の澱粉加水分解研究でも示されています<sup>[7]</sup>。

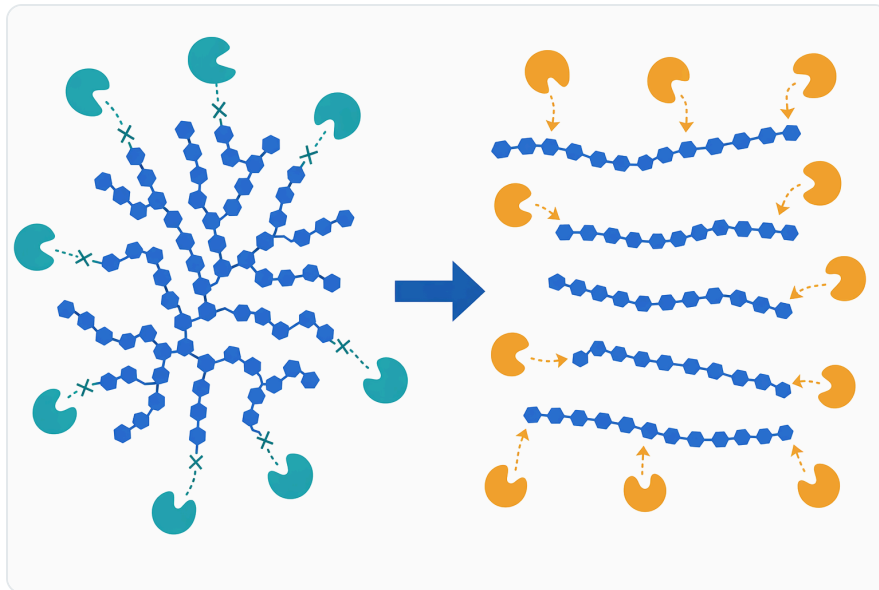
pHと温度は、プルラナーゼ単独ではなく、併用する糖化酵素の条件と整合させて設定されます。グルコースシロップではグルコアミラーゼ、マルトースシロップでは $\beta$ -アミラーゼやマルトース生成型酵素との同時作用が想定されるため、片方の酵素だけが働きやすい条件では工程全体の効率が低下します。食品加工で使われる酵素は、単独性能よりも工程全体での反応選択性と安定性が重要になります<sup>[2]</sup>。

添加量や反応時間は、目的糖組成と原料澱粉の性質に依存します。ここでは具体的な活性単位、分析法、単位定義を示すのではなく、工程上の判断として「分岐デキストリンをどの程度減らしたいか」「グルコース生成を優先するか、マルトース保持を優先するか」「粘度やろ過性をどの程度改善したいか」によってプルラナーゼの位置づけが変わると整理できます<sup>[1]</sup>。

## 原料澱粉ごとの違い：トウモロコシ、甘藷、馬鈴薯、米、その他澱粉

---

トウモロコシ澱粉では、アミロペクチンの分岐構造が糖化中の限界デキストリン形成に関係します。トウモロコシ由来アミロペクチン澱粉に対するプルラナーゼ処理を扱った研究は、プルラナーゼが分岐構造を変えることで澱粉加水分解の挙動に影響することを示す基礎的な根拠になります<sup>[3]</sup>。



**Figure 4.** 탈분지는 분지 장벽을 제거하고 접근 가능한 선형 사슬 영역을 늘려 텍스처링 풀의 구조를 변화시킵니다.

甘藷澱粉では、プルラーゼ処理により消化性の異なる澱粉画分が形成されることが研究されています。これはシロップ製造そのもののデータではありませんが、プルラーゼが澱粉分子の枝分かれ構造を変え、酵素分解性や消化性に影響することを示しています<sup>[6]</sup>。

馬鈴薯澱粉では、顆粒構造、リン酸基、アミロペクチン鎖長分布などが酵素アクセス性に影響します。馬鈴薯澱粉をプルラーゼで処理して耐性澱粉を調製した研究や、顆粒馬鈴薯澱粉を部分脱分岐した研究は、プルラーゼ処理が熱特性、糊化挙動、テクスチャー、構造に影響し得ることを示しています<sup>[8][5]</sup>。

米粉や米澱粉では、プルラーゼ処理と湿熱処理を組み合わせることでRS3型耐性澱粉を形成する研究が報告されています。シロップ製造では耐性澱粉形成を目的としない場合が多いものの、脱分岐後の直鎖状糖鎖が再配列しやすいという現象は、糖化工程後の熱履歴や濃縮・保存条件を考える上でも重要です<sup>[9]</sup>。

シダ根澱粉のような非一般的原料でも、プルラーゼとグルコアミラーゼを組み合わせた処理が構造・物性の変化とともに研究されています。この種の研究は、原料が変わっても「脱分岐で基質構造を変え、他酵素との組み合わせで目的物性や糖質プロファイルへ誘導する」という基本設計が成り立つことを示しています<sup>[10]</sup>。

## 研究知見から見たプルラーゼ利用の範囲

プルラーゼに関する研究は、シロップ製造だけでなく、耐性澱粉、低消化性澱粉、麺類・ゲル食品のテクスチャー改善、顆粒澱粉改質、低温加水分解などへ広がっています。これは、プルラーゼの本質的な機能が「糖を作る」ことだけでなく、「澱粉の分岐構造を変える」ことにあるためです [1]。

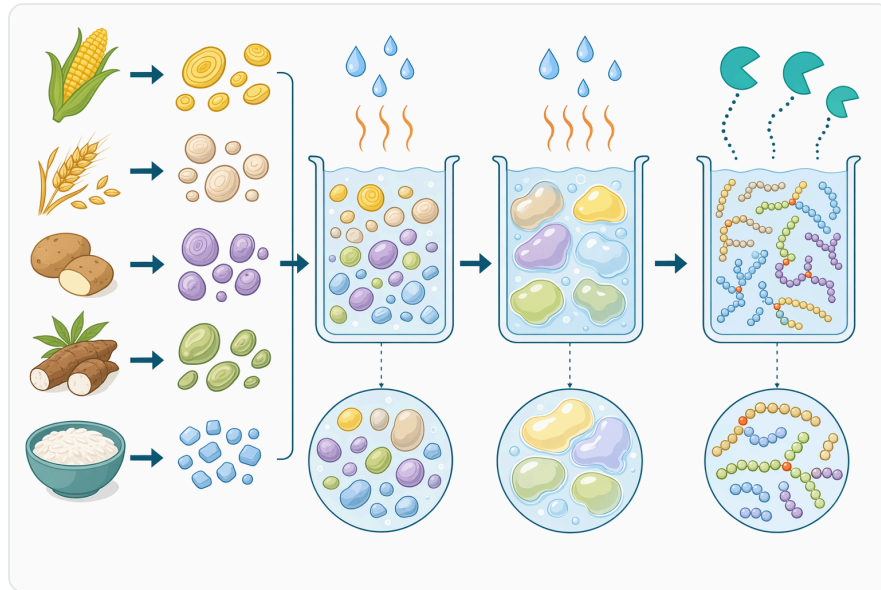


Figure 5. 식물 유래 전분의 구조와 전처리 조건은  $\alpha$ -1,6 분지 결합이 풀룰라나아제에 얼마나 잘 접근 가능한지에 영향을 미칩니다.

研究対象・用途	観察される主な変化	シロップ製造への示唆	関連文献
トウモロコシアミロペクチン澱粉	脱分岐によるアミロペクチン構造変化	分岐限界デキストリン低減の考え方に直結	[3]
甘藷澱粉	プルラーゼ加水分解による消化性画分の変化	原料澱粉により酵素処理後の糖鎖挙動が変わる	[6]
馬鈴薯澱粉	部分脱分岐、熱特性・糊化特性の変化	糖化前後の基質構造が反応性に影響	[8][5]
米粉・米澱粉	脱分岐と熱処理によるRS3形成	脱分岐後の直鎖鎖が再配列し得る	[9]
低温加水分解向けプルラーゼ探索	低温条件に適した酵素候補の設計・探索	将来的に省エネルギー型工程への応用可能性	[11]

低温で働きやすいプルラナーゼの探索・設計に関する研究は、澱粉糖化工程の温度設計に新しい選択肢をもたらす可能性があります。ただし、こうした研究は特定酵素の探索・設計に関するものであり、本製品が同じ特性を持つことを意味するものではありません。公開研究は、プルラナーゼという酵素群の技術的可能性を理解するための根拠として読むべきです<sup>[11]</sup>。

## グルコースシロップとマルトースシロップで期待される工程上の違い

---

グルコースシロップでは、脱分岐後の直鎖デキストリンをグルコアミラーゼがさらにグルコースへ変換する方向に工程が進みます。したがって、プルラナーゼの貢献は、分岐点で滞留するデキストリンを減らし、グルコース生成へ向かう反応経路を増やすことにあります。糖化が進むほど高分子デキストリンが減り、粘度や下流処理に影響する可能性があります<sup>[2]</sup>。

マルトースシロップでは、過度なグルコース生成を避けつつ、マルトースを多く含む糖組成へ誘導する必要があります。この場合、プルラナーゼは $\beta$ -アミラーゼなどが利用できる直鎖領域を増やしますが、グルコアミラーゼを強く働かせる設計とは異なります。つまり、同じ脱分岐酵素であっても、併用酵素と反応停止の設計によって、目指す糖組成は大きく変わります<sup>[1]</sup>。

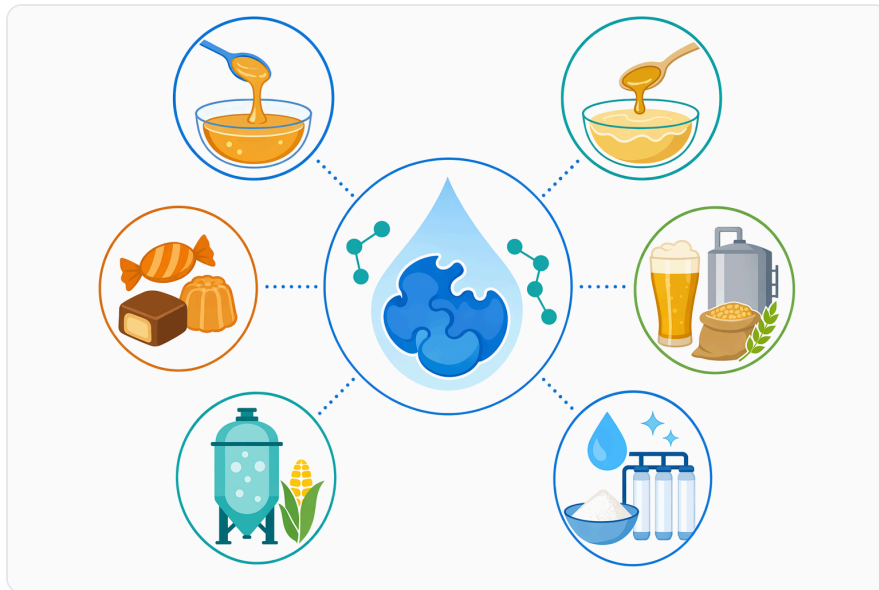
この違いは、プルラナーゼを「グルコースシロップ用」または「マルトースシロップ用」と単純に分けるのではなく、「糖化系の中で分岐構造を解く酵素」として位置づける必要があることを示しています。グルコースを増やしたい工程ではグルコアミラーゼとの相性が重要であり、マルトースを残したい工程では $\beta$ -アミラーゼやマルトース生成型酵素の働きを中心に設計します<sup>[4]</sup>。

## 品質・工程管理への影響

---

分岐デキストリンが多く残る糖液では、糖化反応を延長しても目的糖組成へ近づきにくいことがあります。これは、酵素量や時間だけの問題ではなく、基質の中に酵素が処理しにくい分岐構造が残っているためです。プルラナーゼは、この構造的な制限を緩和するため、糖化工程の再現性や糖組成の安定化に寄与する可能性があります<sup>[3]</sup>。

品質面では、残存デキストリンは粘度、透明性、ろ過性、濃縮挙動、最終糖液の口当たりに影響し得ます。プルラナーゼ処理で分岐デキストリンが低減すれば、糖液の分子量分布がより低分子側へ移り、下流工程で扱いやすくなる可能性があります。ただし、その程度は原料澱粉、液化条件、併用酵素、熱履歴、固形分濃度に依存します<sup>[7]</sup>。



**Figure 6.** 동일한 풀라나아제의 탈분지 작용도 함께 사용하는 효소 시스템에 따라 포도당 시럽, 말토스 시럽 또는 발효성 당류 스트림 생산을 지원할 수 있습니다.

食品加工用シロップでは、糖組成が甘味、保湿性、発酵性、褐変反応、粘度に関係します。マルトース主体の糖液はグルコース主体の糖液と機能が異なるため、プルナーゼの使い方も最終用途に合わせて変わります。微生物酵素は食品産業で広く使われていますが、工程ごとに目的物性と反応選択性を一致させることが重要です<sup>[2]</sup>。

## 期待できることと、過度に期待すべきでないこと

プルナーゼに期待できることは、 $\alpha$ -1,6分岐結合を切断し、分岐限界デキストリンを減らし、グルコアミラーゼや $\beta$ -アミラーゼが働きやすい直鎖状基質を増やすことです。これは、グルコースシロップでは糖化進行の支援、マルトースシロップではマルトース生成の支援として工程上の意味を持ちます<sup>[1]</sup>。

一方で、プルナーゼだけで澱粉を目的糖組成へ完全に変換できるわけではありません。 $\alpha$ -1,4結合を大きく分解する液化酵素、グルコースを生成するグルコアミラーゼ、マルトースを生成する $\beta$ -アミラーゼなどとの組み合わせが必要です。プルナーゼの効果は、あくまで分岐構造の処理を通じて他酵素の作用を補助する点にあります<sup>[4]</sup>。

また、公開研究で示された澱粉構造変化や耐性澱粉形成の結果を、そのまま特定のシロップ製造ラインの収率、糖化時間、糖組成改善幅に置き換えることはできません。研究は酵素の作用機序を理解する根拠になりますが、実際の工程では原料、設備、前処理、熱履歴、反応条件が異なります<sup>[8]</sup>。

## Enzymes.bioからのオンライン購入と文書提供

Enzymes.bioは、本プルナーゼ酵素液を1kg単位でオンライン販売する供給業者です。製品ページから直接購入でき、注文時にはCoAおよびSDSが提供されます。これにより、澱粉糖化、グルコースシロップ製造、マルトースシロップ製造、食品加工用糖質素材、発酵原料用糖液などの用途で、必要な製品情報を注文プロセスと合わせて確認できます。

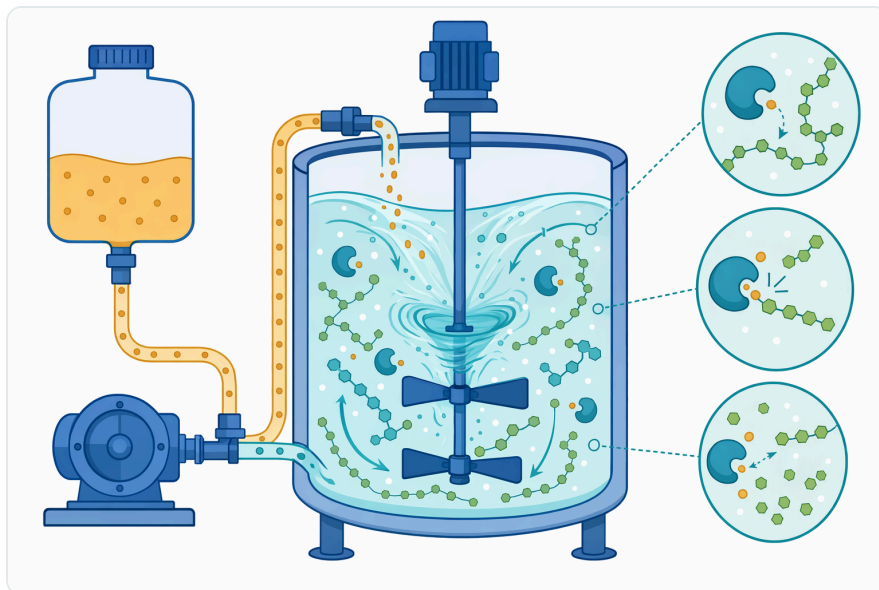


Figure 7. 액상 풀라나아제 제형은 수성 전분 가수분해 공정 흐름에 정량 투입하고 균일하게 분산시키는 데 적합합니다.

本ページの説明は、Enzymes.bioが独自に製造試験を行った結果を示すものではなく、プルナーゼという酵素群の公開研究と澱粉糖化における一般的な酵素機能をもとに、産業利用上の意味を整理したものです。実際の工程では、製造ラインごとの原料澱粉、液化状態、併用酵素、pH、温度、反応時間、目的糖組成に応じて挙動が変わります<sup>[1]</sup>。

### まとめ：脱分岐が糖化工程の到達点を変える

プルナーゼ酵素液は、澱粉糖化工程に残る $\alpha$ -1,6分岐結合を切断し、グルコースシロップおよびマルトースシロップ製造で糖化酵素が働きやすい基質状態を作るための脱分岐酵素です。グルコースシロップではグルコアミラーゼによるグルコース生成を支援し、マルトースシロップでは $\beta$ -アミラーゼやマルトース生成型酵素が利用できる直鎖領域を増やすことで、目的糖組成への到達を助けます<sup>[2]</sup>。

プルナーゼの価値は、反応系に単に酵素を一つ加えることではなく、澱粉分子の分岐構造を変えて糖化の制約を減らす点にあります。トウモロコシ、甘藷、馬鈴薯、米など多様な澱粉に関する研究は、脱分岐が澱粉の構造、物性、酵素分解性に影響することを示しており、シロップ製造におい

ても分岐デキストリン制御が重要であることを裏付けています<sup>[3][5]</sup>。

Enzymes.bioの **Pullulanase Enzyme Liquid For Starch Hydrolysis In Glucose And Maltose Syrup Production** は、1kg単位でオンラインから直接購入できる澱粉加水分解用プルラナーゼ製品です。注文時にはCoAおよびSDSが併せて提供されるため、グルコースシロップ、マルトースシロップ、発酵原料用糖液、食品加工用糖質素材の工程検討に組み込みやすい供給形態です。

## Pullulanase Enzyme Liquid For Starch Hydrolysis In Glucose And Maltose Syrup Productionをオンライン注文

1 kg単位で販売、在庫あり・即出荷可能です。オンラインストアで直接ご注文・決済いただければ、当社で注文を処理します。すべてのご注文に試験成績書（CoA）と安全データシート（SDS）が付属します。

**Pullulanase Enzyme Liquid For Starch Hydrolysis In Glucose And Maltose Syrup Production**を購入 →

## 参考文献

初出引用順に番号を付けています。各出典はオープンアクセスで、公開時にアクセス可能であることを確認済みです。本文中の引用番号からこちらにリンクしています。

1. Naik, B., Kumar, V., Goyal, S., Tripathi, A. D., Mishra, S., Saris, P. E. J., Kumar, A., ... et al. (2023). Pullulanase: unleashing the power of enzyme with a promising future in the food industry. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 11.
2. Kumar, A., Dhiman, S., Krishan, B., Samtiya, M., Kumari, A., Pathak, N., Kumari, A., ... et al. (2024). Microbial enzymes and major applications in the food industry: a concise review. *Food Production, Processing and Nutrition*, 6.
3. Papakhin, A. A., & Borodina, Z. (2022). Use of pullulanase as a biocatalyst for starch hydrolysis: Part 1. Study of the effect of pullulanase on maize amylopectin starch. *Food systems*.
4. Okpara, M. (2022). Microbial Enzymes and Their Applications in Food Industry: A Mini-Review. *Advances in Enzyme Research*.
5. Ulbrich, M., Bültena, M., Braun, B., Meißner, K., Bussert, R., & Flöter, E. (2023). Specific Modification of Granular Potato Starch by Means of Partial Debranching Using Pullulanase. *Starke (Weinheim)*.
6. Duong, H., Nguyen, T., Phùng, T., Le, T. V., Nguyen, T., Vu, T., & Luong, H. (2024). Effect of hydrolysis of sweet potato starch by pullulanase enzyme on the formation of slowly digestible starch. *Food Research*.

7. Akintayo, O., Falconer, R., Lauer, J. C., Cowley, J., & Bozkurt, H. (2025). The effect of gelatinisation and enzymatic hydrolysis methods on the starch, sugar and physicochemical profiles of faba bean milk. *International Journal of Biological Macromolecules*, 140898 .
8. Reddy, C. K., Pramila, S., & Haripriya, S. (2015). Pasting, textural and thermal properties of resistant starch prepared from potato (*Solanum tuberosum*) starch using pullulanase enzyme. *Journal of food science and technology*, 52, 1594-1601.
9. Pham, C., Pham, A. T., & Nguyen, D. (2024). Optimisation of some technological factors of pretreatment by pullulanase enzymatic hydrolysis combined with hydrothermal process to produce resistant starch (RS3) from rice flour ingredients. *Ministry of Science and Technology, Vietnam*.
10. Huang, M., Li, L., Lei, G., Qiu, R., Wang, Y., Wu, J., & Zong, X. (2024). Preparation of fern root resistant starch by pullulanase and glucoamylase combined with autoclaving-enzymatic method: physicochemical properties and structural characterization. *The Journal of the Science of Food and Agriculture*.
11. Wang, X., Wang, Z., Zhang, X., Zhang, Y., Zhang, W., Zhang, Y., Zhang, X., ... et al. (2024). Bioinformatics-assisted mining and design of novel pullulanase suitable for starch cold hydrolysis. *Journal of Biotechnology*.


## Enzymes.bioへお問い合わせ


ご注文に関するご質問は、当社チームが喜んでサポートします。

メール [wholesale@enzymes.bio](mailto:wholesale@enzymes.bio)

電話（米国） **+1 (507) 428-6057**

[お問い合わせ →](#)

 **400+** B2B顧客

 **60+** 大学研究パートナー

 **54** 世界各国に供給

© 2026 Enzymes.bio · 産業用 · 食品加工用酵素の供給 · 人の摂取用または小売販売用ではありません。