

# Pullulanase Enzyme For Cost Effective Beer Brewing : ビール醸造の糖化効率と発酵性を支えるプルラナーゼ酵素

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

**Pullulanase Enzyme For Cost Effective Beer Brewing** は、ビール醸造のマッシュ／糖化工程でデンプンの分岐点を切断し、発酵可能糖の生成を助けるプルラナーゼ酵素です。プルラナーゼはアミロペクチンや分岐デキストリンに含まれる  $\alpha$ -1,6-グルコシド結合を加水分解する「枝切り酵素」であり、 $\alpha$ -アミラーゼ、 $\beta$ -アミラーゼ、グルコアミラーゼが作用しやすい直鎖状基質を増やします<sup>[1]</sup>。副原料比率の高い仕込み、ドライなビール、高発酵度ビール、低炭水化物設計では、糖化の残りやすい分岐デキストリンを減らす補助酵素として有用です。

## Pullulanase Enzyme For Cost Effective Beer Brewing とは何か

Pullulanase Enzyme For Cost Effective Beer Brewing は、ビール醸造においてデンプン由来の分岐構造を処理し、糖化工程の効率を高めるために使われるプルラナーゼ酵素製品です。プルラナーゼは一般に、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 結合を切断する酵素として整理され、食品産業ではデンプン糖化、糖組成制御、発酵基質の調整に関わる酵素として扱われています<sup>[1]</sup>。

ビール醸造で重要なのは、デンプンを単に小さくすることではなく、酵母が利用できる糖へどこまで変換できるかです。麦芽には  $\alpha$ -アミラーゼや  $\beta$ -アミラーゼなどの内在酵素がありますが、アミロペクチンの分岐点では分解が止まりやすく、限界デキストリンや分岐デキストリンが残ります。プルラナーゼはこの分岐点を開くことで、既存の糖化酵素がさらに作用できる末端や直鎖領域を増やし、麦汁の発酵性を高める方向に働きます<sup>[2]</sup>。

Enzymes.bio は本製品の供給業者であり、製造業者または研究所としてではなく、オンラインで購入できる酵素製品を提供する立場です。Pullulanase Enzyme For Cost Effective Beer Brewing は、ビール醸造向けプルラナーゼ酵素として掲載されており、1 kg単位でオンライン直接販売されます。注文時には CoA および SDS が併せて提供されます。

## ビール醸造でプルナーゼが重要になる理由

---

ビールの糖化工程では、デンプンの糊化、可溶化、低分子化、発酵可能糖への変換が連続して進みます。 $\alpha$ -アミラーゼはデンプン鎖の内部  $\alpha$ -1,4 結合を切断してデキストリンを作り、 $\beta$ -アミラーゼは非還元末端から主にマルトースを生成します。一方で、アミロペクチンには  $\alpha$ -1,6 結合による分岐があり、 $\beta$ -アミラーゼはこの分岐点を越えて進みにくいため、分岐構造を含むデキストリンが残存しやすくなります<sup>[3]</sup>。

プルナーゼの役割は、この分岐を切断してアミラーゼ系酵素の「行き止まり」を減らすことです。分岐点が切断されると、もともと密に枝分かれしていたデンプン断片が、より直鎖に近い構造へ変わります。その結果、 $\beta$ -アミラーゼやグルコアミラーゼが作用できる部位が増え、マルトース、グルコース、マルトトリオースなどの発酵可能糖の生成が進みやすくなります<sup>[4]</sup>。

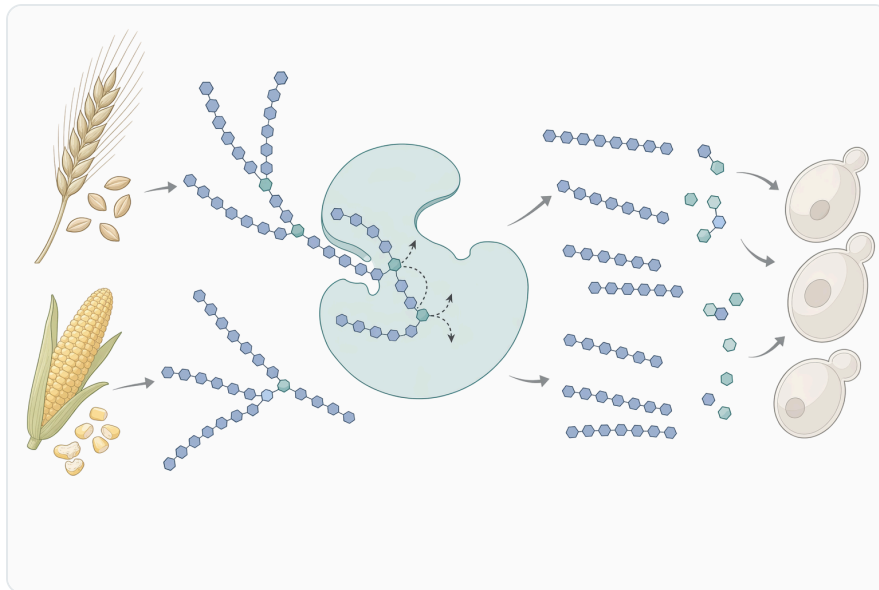
この機序は、コスト効率型の醸造で特に意味を持ちます。副原料を増やすと、麦芽由来酵素の供給量やバランスが相対的に低下し、糖化不足、発酵遅延、最終比重の上振れが起こる場合があります。プルナーゼを糖化設計に組み込むことで、麦芽酵素だけでは処理しにくい分岐デンプンを補助的に分解し、原料から得られる発酵性抽出分を高める方向に働きます<sup>[2]</sup>。

## 作用機序： $\alpha$ -1,6 結合を切る「枝切り」が糖化を変える

---

ビール原料中のデンプンは、主にアミロースとアミロペクチンから成ります。アミロースは比較的直鎖状の  $\alpha$ -1,4 グルカンであるのに対し、アミロペクチンは  $\alpha$ -1,4 鎖に  $\alpha$ -1,6 分岐が入った巨大分子です。麦芽酵素の多くは  $\alpha$ -1,4 結合に作用するため、分岐点を多く含むアミロペクチンでは完全な糖化が制限されます<sup>[2]</sup>。

プルナーゼは、アミロペクチンやプルランの  $\alpha$ -1,6 結合を標的とするデブランチング酵素です。研究では、プルナーゼ活性を持つ酵素がアミラーゼ活性と異なる基質特異性を示すことが確認されており、分岐結合を処理する機能は通常の  $\alpha$ -アミラーゼ作用とは分けて理解されます<sup>[4]</sup>。



**Figure 1.** 풀라나아제는 아밀로펙틴 유래 덱스트린의  $\alpha$ -1,6 분지점을 절단하여 조각들이 당화 효소에 더 쉽게 접근할 수 있게 한다.

この違いは醸造実務で大きな意味を持ちます。α-アミラーゼだけを強めるとデンプンの可溶化やデキストリン化は進みますが、非発酵性または低発酵性の分岐デキストリンが増えることがあります。プルラナーゼはそれらの分岐点を切り、β-アミラーゼやグルコアミラーゼがさらに短い糖へ変換できる構造を作ります。つまり、プルラナーゼは「糖化を始める酵素」ではなく、「糖化が止まりやすい分岐点を開く酵素」として位置づけると理解しやすくなります<sup>[1]</sup>。

プルラナーゼの工業的価値は、単独反応よりも酵素系全体の相乗効果にあります。デンプン加工分野では、枝切り酵素が他の糖化酵素と組み合わせられ、糖組成や糖化効率の調整に使われています。醸造でも同じ考え方が適用でき、マッシュ中でα-アミラーゼ、β-アミラーゼ、グルコアミラーゼなどが存在する条件下で、プルラナーゼが分岐構造を開くことで発酵性を高めます<sup>[5]</sup>。

## 醸造酵素の中でのプルラナーゼの位置づけ

プルラナーゼは、ビール醸造に使われる酵素群の中で、デンプンの「分岐」を処理する役割に特化しています。ろ過性を改善するβ-グルカナーゼ、タンパク質を分解して窒素供給や濁り制御に関わるプロテアーゼ、可溶化を進めるα-アミラーゼとは作用点が異なります。したがって、プルラナーゼの価値は、デンプン分解の中でも限界デキストリンを減らし、発酵可能糖生成を補助する点にあります<sup>[1]</sup>。

酵素	主な作用点	醸造での主な意味	プルラナーゼとの関係
α-アミラーゼ	デンプン鎖内部のα-1,4結合	デンプンの可溶化、デキストリン化、粘度低下	プルラナーゼが分岐を開くと、α-アミラーゼが作用しやすい領域が増える

酵素	主な作用点	醸造での主な意味	プルラナーゼとの関係
$\beta$ -アミラーゼ	非還元末端側の $\alpha$ -1,4結合	マルトース生成、発酵性向上	分岐点で停止しやすいため、プルラナーゼによる枝切りで作用範囲が広がる
グルコアミラーゼ	末端からのグルコース生成	高発酵度、低糖質、ドライな設計	分岐デキストリンが開かれると、より完全な糖化に向かいやすい
プルラナーゼ	$\alpha$ -1,6分岐結合	限界デキストリン低減、糖化補助、発酵性改善	他の糖化酵素の作用を補完する枝切り酵素

この表の通り、プルラナーゼはアミラーゼの単純な代替ではありません。アミラーゼは主に $\alpha$ -1,4結合を処理し、プルラナーゼは $\alpha$ -1,6分岐を処理します。両者の作用点が違うため、分岐デンプンを多く含むマッシュでは、プルラナーゼを組み込むことで糖化系全体の効率が改善されやすくなります<sup>[3]</sup>。

## コスト効率型ビール醸造で期待される実務上の利点

### 副原料を使うレシピでの発酵性確保

米、トウモロコシ、キャッサバ、ソルガム、オーツ、その他の未麦芽穀物を使う醸造では、麦芽に由来する酵素活性が相対的に不足しやすくなります。副原料は原料コスト、風味設計、地域調達、グルテンフリー設計の面で利点がありますが、麦芽と同じ糖化酵素バランスを持たないため、マッシュ内でのデンプン処理が制約される場合があります<sup>[6]</sup>。

キャッサバビールに関する研究では、原料デンプン構造の処理が麦汁中の発酵可能糖に影響することが示されており、醸造でのデンプン構造制御が糖化結果に直結することが分かります。これは、プルラナーゼのようなデンプン構造に直接作用する酵素を使う意義を説明するうえで重要です<sup>[6]</sup>。

プルラナーゼは、副原料由来のアミロペクチンや分岐デキストリンを処理し、麦芽由来または外部添加の糖化酵素が利用しやすい基質へ変えることで、発酵性の低下を補助的に抑える方向に働きます。特に、麦芽比率を下げるコスト効率型レシピでは、単に副原料を増やすだけでなく、デンプン分岐の処理を含めた糖化設計が重要になります<sup>[2]</sup>。

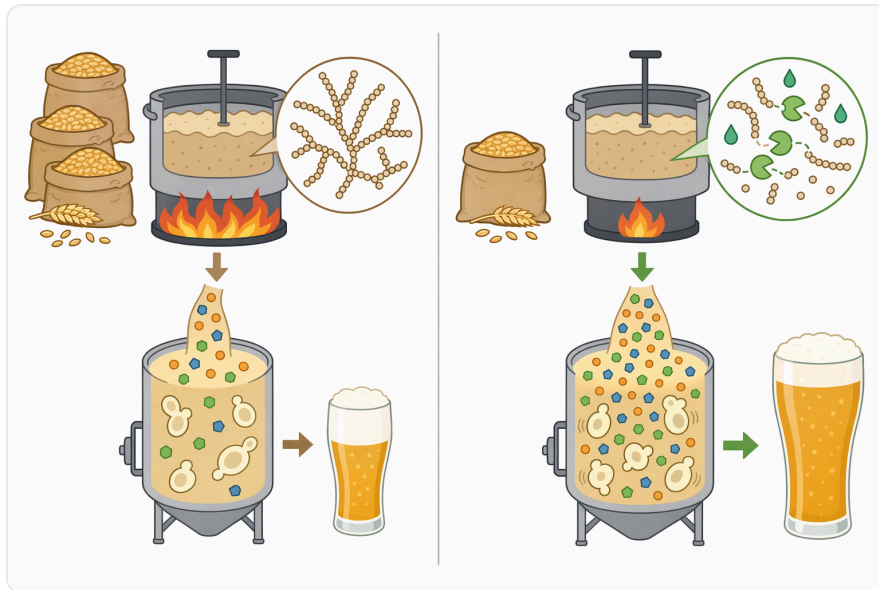


Figure 2. 양조용 전분 전환 효소들은 서로 보완적으로 작용한다.  $\alpha$ -아밀라아제는 사슬을 액화하고,  $\beta$ -아밀라아제와 글루코아밀라아제는 당을 방출하며, 풀룰라나아제는 분지점을 제거한다.

## 高発酵度・ドライなビール設計

高発酵度ビールやドライなフィニッシュを狙うビールでは、残存デキストリンをどこまで減らすかが設計上の要点になります。プルナーゼは、非発酵性として残りやすい分岐デキストリンを開くことで、 $\beta$ -アミラーゼやグルコアミラーゼによる追加分解を受けやすい状態にします。その結果、麦汁中の発酵可能糖比率を高める方向に作用します<sup>[1]</sup>。

ただし、発酵度を高めることは常に望ましいわけではありません。ボディ、甘味、口当たりを重視するスタイルでは、デキストリンの一部が官能設計に貢献します。プルナーゼは「薄いビールを作る酵素」ではなく、分岐デキストリンを制御する酵素です。使いどころは、スタイル、原料、目標最終比重、求める口当たりに応じて判断されます<sup>[2]</sup>。

## 原料ばらつきへの工程安定化

麦芽や副原料は、品種、栽培条件、乾燥、保管、粉碎、熱処理によってデンプンの糊化性や酵素消化性が変わります。近年のデンプン改質研究では、酵素的処理がデンプンの分子構造、消化性、物性に大きく影響することが整理されており、デンプンを狙った酵素利用は食品加工全般で重要な技術領域です<sup>[2]</sup>。

醸造では、原料のばらつきが糖化時間、麦汁比重、発酵度、ろ過負荷に反映されます。プルナーゼは、すべてのばらつきを解消するものではありませんが、デンプン分岐構造という明確なボトルネックに作用するため、分岐デキストリン残存が問題になる仕込みでは再現性の改善に寄与しやすい酵素です<sup>[1]</sup>。

## マッシュ工程での考え方

プルラーナーゼは、デンプンが水和・糊化し、アミラーゼ類が基質へアクセスできる状態で価値を発揮します。糖化工程の中で分岐デキストリンが形成され、同時に  $\alpha$ -1,6 分岐が残るため、プルラーナーゼは糖化酵素系と同じ工程領域で使われるのが一般的な考え方です。ここで重要なのは、プルラーナーゼ単独ではなく、 $\alpha$ -アミラーゼや  $\beta$ -アミラーゼなどと反応のタイミングが重なることです [5]。

温度と pH は酵素反応に影響しますが、本稿では特定の活性単位、分析法、製品グレード、活性定義には踏み込みません。供給製品としてのプルラーナーゼを工程に組み込む際は、既存のマッシュ設計、原料配合、求める発酵度、ビールスタイルとの整合性を重視します。特に高発酵度設計では、枝切り後にどの糖化酵素がどの程度作用するかが最終的な糖組成を左右します [7]。

マッシュでのプルラーナーゼ利用は、工程のどこか一箇所を劇的に変えるというより、デンプン分解の連鎖を止まりにくくする補助的な技術です。糊化が不十分な原料では、酵素が基質へ十分アクセスできません。逆に、デンプンが十分に可溶化され、アミラーゼ系酵素が働いている状態では、プルラーナーゼが分岐点を切ることで追加糖化が進みやすくなります [2]。



**Figure 3.** 풀룰라나아제는 분지 덱스트린이 발효성을 제한하는 고발효도 맥주, 부원료 매시, 고농도 양조 및 기타 곡물 발효에서 특히 중요하다.

## 副原料別に見たプルラナーゼの価値

### 米・トウモロコシ系副原料

米やトウモロコシは、ニュートラルな風味、淡い色調、軽い飲み口を作る目的で使われます。一方で、未麦芽原料として使用する場合、麦芽のような酵素供給源にはなりにくいため、糖化は麦芽酵素または外部酵素に依存します。プルラナーゼは、これらのデンプンに含まれるアミロペクチン分岐を処理し、発酵可能糖の生成を支える役割を持ちます<sup>[2]</sup>。

コスト効率の観点では、副原料の利用は原料設計の柔軟性を高めますが、糖化不良が起こればアルコール収率、発酵時間、安定性に悪影響が出ます。プルラナーゼは、分岐デキストリンを減らして他の糖化酵素の働きを補助するため、副原料使用時の糖化不足リスクを抑えるための選択肢になります<sup>[1]</sup>。

### キャッサバ・ソルガムなど代替デンプン原料

キャッサバなどのデンプン原料は、地域性やコスト、グルテンフリー設計の観点から注目されます。キャッサバビール研究では、押出処理によるデンプン構造の変化が麦汁中の発酵可能糖量を高めることが示され、原料デンプン構造の改変が発酵性に直結することが示唆されています<sup>[6]</sup>。

プルラナーゼは熱処理そのものではありませんが、同じくデンプン構造を醸造しやすい方向へ変える手段です。キャッサバやソルガムのように麦芽とは異なるデンプン特性を持つ原料では、糊化、液化、枝切り、糖化を連続した設計として考えることが重要です。プルラナーゼはその中で、分岐デンプンを糖化しやすい形へ変える役割を担います<sup>[2]</sup>。

### オーツや高粘度原料

オーツや一部の代替穀物では、デンプンだけでなく $\beta$ -グルカンやタンパク質による粘度、ろ過性、麦汁処理性が課題になります。プルラナーゼは $\beta$ -グルカンを主対象とする酵素ではないため、ろ過困難の原因が細胞壁多糖である場合は、 $\beta$ -グルカナーゼなど別の酵素系が関与します。プルラナーゼの対象はあくまでデンプン分岐構造です<sup>[1]</sup>。

したがって、オーツや高粘度原料を使う場合、プルラナーゼだけで工程課題を解決しようとするのは適切ではありません。デンプン由来の残存デキストリンにはプルラナーゼ、粘度やろ過性に関わる非デンプン多糖には別の酵素、酵母栄養や泡への影響にはタンパク質設計というように、課題ごとに作用点を分けて考える必要があります<sup>[2]</sup>。

## プルナーゼがビール品質へ与える影響

プルナーゼの直接的な影響は、香味成分を作るのではなく、麦汁中の糖組成を変えることです。分岐デキストリンが減り、発酵可能糖が増える方向に進むと、酵母が利用できる糖が増え、発酵度が高まり、最終比重が下がりやすくなります。その結果として、ドライさ、軽さ、アルコール収率、残糖感に影響が出ます<sup>[1]</sup>。

一方で、ボディや口当りはデキストリン、タンパク質、グリセロール、炭酸、アルコール、ミネラル、発酵副産物など複数要因で決まります。プルナーゼはデキストリン側のバランスに影響しますが、泡持ち、エステル生成、ホップ香、濁り安定性を単独で制御する酵素ではありません。過度に発酵性を高めると、狙ったスタイルによっては薄さやシャープさが強く感じられる可能性があります<sup>[2]</sup>。

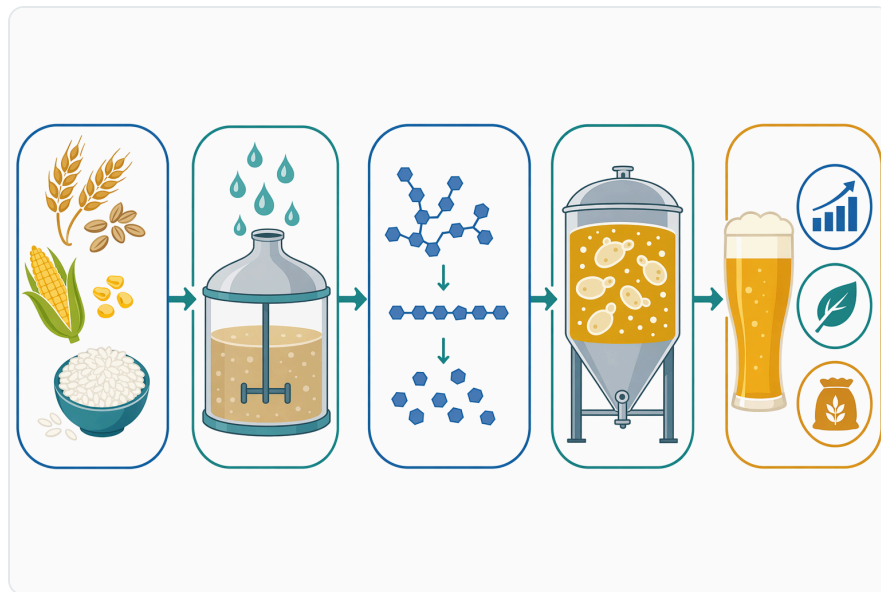


Figure 4. 풀러나아제의 경제적 가치는 전분 이용률, 맥주 발효성, 부원료 활용 유연성, 발효도 예측성을 향상시키는 데 있다.

このため、プルナーゼは「品質を良くする酵素」と一般化するより、「分岐デキストリンを減らし、発酵性を上げる方向に糖組成を調整する酵素」と表現するのが正確です。高発酵度、低炭水化物、ドライ仕上げには適していますが、濃厚なボディや残糖感を重視するビールでは、目的に合わせたバランスが必要です<sup>[1]</sup>。

## 根拠の整理：どこまでが確実に、どこからが工程依存か

プルナーゼが  $\alpha$ -1,6 分岐結合を加水分解する枝切り酵素であることは、酵素化学およびデンプン加工分野で確立した理解です。基質特異性に関する研究では、プルナーゼ活性とアミラーゼ活性が異なる作用点を持つことが示されており、分岐構造の処理がプルナーゼの中心機能であること

が確認されています<sup>[4]</sup>。

また、プルラナーゼの構造領域が特異性や安定性に影響することも報告されており、プルラナーゼを一種類の単純な酵素としてではなく、由来や構造によって性質が異なる酵素群として理解する必要があります。これは醸造用途でも、温度、pH、原料、保持時間によって反応結果が変わることを意味します<sup>[7]</sup>。

一方で、ビールそのものの品質改善をプルラナーゼ単独に帰属させるのは慎重であるべきです。麦汁の発酵性はデンプン糖化に強く関係しますが、ビールの官能品質は酵母、発酵温度、窒素成分、脂質、ホップ、熟成、ろ過条件にも左右されます。プルラナーゼの確実な作用は、分岐デキストリンの枝切りを通じて糖化可能性を高める点にあります<sup>[2]</sup>。

論点	根拠の強さ	実務上の解釈
$\alpha$ -1,6 分岐結合を切断する	高い	プルラナーゼの中心機能であり、アミラーゼとは作用点が異なる
糖化酵素との相乗効果	高い	枝切りにより、 $\beta$ -アミラーゼやグルコアミラーゼが作用しやすい基質を増やす
発酵可能糖の増加	中～高	原料、糊化、マッシュ条件、併用酵素に依存する
ビールのドライ化・最終比重低下	中	糖組成を通じて影響するが、酵母と発酵条件にも左右される
ろ過性、泡、香味の改善	限定的	プルラナーゼの直接対象ではなく、他の酵素や工程因子が関与する

この整理から分かるように、プルラナーゼは「糖化効率」と「発酵性」に関わる酵素として評価すべきです。ろ過性や泡持ちなど、デンプン分岐以外の要因が支配的な課題では、プルラナーゼ以外の酵素や工程調整が必要になります<sup>[1]</sup>。

## 産業醸造での応用範囲

産業規模の醸造では、製品ごとの味の一貫性、発酵時間、原料コスト、設備稼働率が重要です。プルラナーゼは、糖化の終点をより発酵性側へ動かしやすくするため、ドライビール、ライトビール、低炭水化物ビール、原料代替を含むビール設計で利用価値があります。特に、副原料を増やしながらか発酵性を維持したい場合、枝切り酵素の考え方は合理的です<sup>[5]</sup>。

また、代替穀物や地域原料を使う醸造では、麦芽大麦とは異なるデンプン構造や糊化特性が問題になります。近年、フィンガーミレットなどの穀物を産業醸造に使う研究でも、発芽や焙燥条件が麦芽品質や醸造適性に影響することが扱われており、原料ごとの酵素設計が重要であることが分かります<sup>[8]</sup>。

プルラーナーゼは、このような原料多様化の中で、デンプン分岐という共通課題に対応する酵素です。原料が変わっても、アミロペクチン分岐が糖化を制限するという構造的問題は残ります。そのため、プルラーナーゼは大麦芽主体の醸造だけでなく、副原料や代替穀物を含む仕込みでも検討価値があります<sup>[2]</sup>。

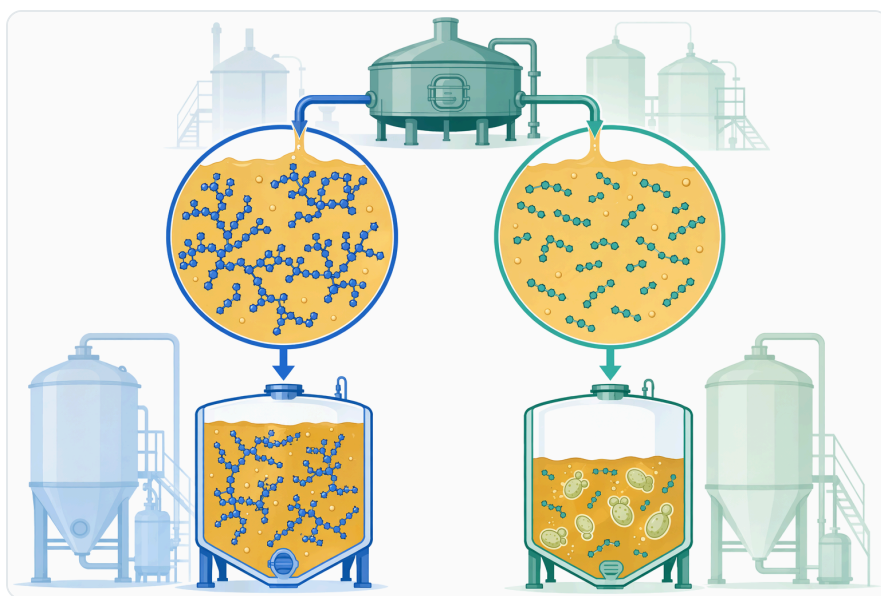


Figure 5. 풀룰라나아제는 효모 대사를 바꾸는 것이 아니라 맥즙의 탄수화물 조성을 변화시킴으로써 발효에 간접적으로 영향을 준다.

## Enzymes.bio での供給形態と製品位置づけ

Enzymes.bio は、Pullulanase Enzyme For Cost Effective Beer Brewing をオンラインで供給する立場です。本製品はビール醸造向けのプルラーナーゼ酵素として掲載され、1 kg単位で直接購入できます。注文時には CoA と SDS が併せて提供されます。

製品ページで強調すべき価値は、過度な性能保証ではなく、プルラーナーゼの作用点を明確にした実務的な理解です。すなわち、プルラーナーゼはデンプンの  $\alpha$ -1,6 分岐を切断し、糖化酵素がさらに働ける構造を作る酵素です。副原料を使うコスト効率型醸造、高発酵度設計、低炭水化物ビール、ドライな仕上がりを狙う工程で、分岐デキストリンの残存を減らす補助酵素として位置づけられます<sup>[1]</sup>。

同時に、プルラナーゼを万能酵素として扱わないことも重要です。ろ過性の主要因が  $\beta$ -グルカンであれば  $\beta$ -グルカナーゼ、タンパク質や窒素供給が課題であればプロテアーゼや原料設計、発酵香味が課題であれば酵母管理が関与します。プルラナーゼの焦点は、あくまでデンプン分岐構造と発酵性糖生成です<sup>[2]</sup>。

## まとめ：プルラナーゼはコスト効率型醸造の糖化ボトルネックを減らす酵素

Pullulanase Enzyme For Cost Effective Beer Brewing は、ビール醸造の糖化工程でアミロペクチンや分岐デキストリンの  $\alpha$ -1,6 結合を切断し、発酵可能糖の生成を助けるプルラナーゼ酵素です。 $\alpha$ -アミラーゼや  $\beta$ -アミラーゼが処理しにくい分岐点を開くことで、マッシュ中の糖化反応をより進めやすい方向へ導きます<sup>[4]</sup>。

この作用は、副原料を使うコスト効率型レシピ、ドライで高発酵度のビール、低炭水化物設計、代替穀物を含む醸造で特に意味を持ちます。プルラナーゼは単独でビール品質を決定する酵素ではありませんが、デンプン分岐という明確な制約に作用するため、糖化効率と発酵性を高めたい醸造設計では有力な補助酵素になります<sup>[1]</sup>。

Enzymes.bio は、本製品を1 kg単位でオンライン直接販売する供給業者です。CoA と SDS は注文時に併せて提供されます。Pullulanase Enzyme For Cost Effective Beer Brewing は、麦芽酵素だけに依存しない糖化設計を支え、原料利用率、発酵性、ドライな仕上がりを重視する醸造に適したプルラナーゼ酵素として位置づけられます。

### Pullulanase Enzyme For Cost Effective Beer Brewing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、当社でご注文を処理します。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 For Cost Effective Beer Brewing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. Choton, S., Bandral, J., Singh, J., Bhat, A., Sood, M., Gupta, N., Reshi, M., ... et al. (2024). Enzymatic Modification of Starch: A Review. *Saudi Journal of Medical and Pharmaceutical Sciences*.
3. Lee, E. Y., Marshall, J., & Whelan, W. (1971). The substrate specificity of amylopectin-debranching enzymes from sweet corn. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 143 2, 365-74 .
4. Kim, C., & Kim, Y. S. (1995). Substrate specificity and detailed characterization of a bifunctional amylase-pullulanase enzyme from Bacillus circulans F-2 having two different active sites on one polypeptide. *European Journal of Biochemistry*, 227 3, 687-93 .
5. Anshory, L., Andrianto, D., Setiarto, R., & Wardana, A. A. (2025). Utilisation of immobilised pullulanase enzyme for starch debranching on an industrial scale: A Review. *IOP Conference Series: Earth and Environment*, 1549.
6. Qi, M., Jiang, L., Song, J., Li, L., Xu, M., Li, Y., Ma, C., ... et al. (2024). Enhancing cassava beer quality: Extrusion-induced modification of cassava starch structure boosts fermentable sugar content in wort. *International Journal of Biological Macromolecules*, 134895 .
7. Wang, J., Liu, Z., & Zhou, Z. (2018). The N - Terminal Domain of the Pullulanase from Anoxybacillus sp. WB42 Modulates Enzyme Specificity and Thermostability. *ChemBioChem*, 19.
8. Belihu, T. M., Abera, A. A., Tesema, E. A., & M, R. D. (2025). Impact of germination and kilning parameters on Eleusine coracana malting for industrial brewing applications. *Scientific Reports*, 15.


## 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。