

# Pullulanase Enzyme For Beer Brewing : ビール醸造で発酵性を高める脱分岐酵素

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

**Pullulanase Enzyme For Beer Brewing**は、麦芽や副原料のでんぷん糖化で残りやすいアミロペクチン由来の分岐デキストリンを処理し、発酵性糖への変換を助ける醸造用脱分岐酵素です。 $\alpha$ -アミラーゼやグルコアミラーゼと同じ「でんぷん分解」の文脈で使われますが、主な役割は主鎖を切るのではなく、糖化を妨げる分岐点を開くことにあります。高副原料仕込み、ドライビール、ライトビール、高発酵度設計では、残デキストリンを減らし、より完全な発酵へ近づける工程ツールとして検討されます。

## プルラナーゼはビール醸造で何をする酵素か

ビール醸造におけるプルラナーゼは、でんぷん質原料の糖化工程で「枝分かれ構造」を処理する酵素です。麦芽や米、トウモロコシ、ソルガム、その他のでんぷん質副原料に含まれるでんぷんは、直鎖状のアミロースと、枝分かれしたアミロペクチンを含みます。 $\alpha$ -アミラーゼはでんぷん主鎖を切ってデキストリンを作り、 $\beta$ -アミラーゼは非還元末端からマルトース生成に寄与し、グルコアミラーゼはデキストリンをさらに小さな発酵性糖へ進めます。しかし、アミロペクチンの分岐点が残ると、酵素がそれ以上進みにくい限界デキストリンが生じ、麦汁の発酵度が頭打ちになることがあります。ビール製造では、でんぷん、糖、タンパク質、色、香味成分が工程ごとに変化するため、糖化酵素の役割を個別に整理することが重要です<sup>[1]</sup>。

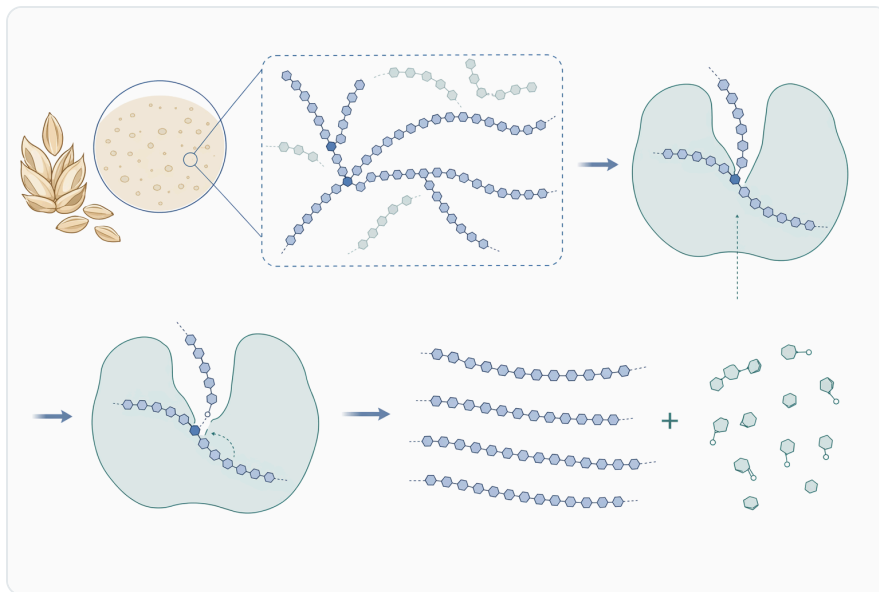
プルラナーゼの特徴は、アミロペクチンやプルラン様構造に存在する $\alpha$ -1,6グリコシド結合、つまり枝分かれ点に作用することです。これにより、分岐したデキストリンがより直鎖状の基質へ近づき、 $\beta$ -アミラーゼやグルコアミラーゼが末端から作用しやすくなります。ビール醸造での実務的な価値は、単独で糖を作り切るのではなく、他の糖化酵素が働きやすい基質構造を作る点にあります。Bacillus由来のアミラーゼ・プルラナーゼ酵素に関する研究では、同一ポリペプチド上に異なる活性部位を持ち、基質特異性を分けて示す例が報告されており、でんぷん主鎖切断と分岐点処理が酵素学的に異なる機能であることを理解する助けになります<sup>[2]</sup>。

Enzymes.bioが供給するPullulanase Enzyme For Beer Brewingは、ビール醸造向けに使われる酵素製品として、糖化工程の発酵性改善を狙う事業者に適した選択肢です。Enzymes.bioは製造業者または研究機関ではなく、酵素製品の供給者として、オンラインで1kg単位の直接販売を行います。注文

時にはCoAおよびSDSが併せて提供されるため、購入後の受入管理や安全情報の確認に利用できません。

## でんぷん糖化における「分岐点」が発酵度を制限する理由

麦汁の発酵性を左右するのは、総糖量だけではありません。酵母が利用しやすい糖、利用しにくいオリゴ糖、ほとんど発酵されない高分子デキストリンの比率が重要です。標準的な麦芽糖化では、マルトース、マルトトリオース、グルコースが発酵性糖の中心となり、残ったデキストリンはボディや口あたりに寄与します。しかし、ドライビールやライトビール、高重力醸造では、残デキストリンが多いと最終発酵度が伸びず、目的とするアルコール収率や低残糖設計に届きにくくなります。酵素反応の見かけの結果は、基質構造、結合様式、酵素と基質の接触しやすさに依存するため、同じ「でんぷん分解」でも対象結合が異なれば工程上の効果は変わります<sup>[3]</sup>。



**Figure 1.** 풀라나아제는 아밀로펙틴 유래 덱스트린의  $\alpha$ -1,6 분지 결합을 절단해, 그 조각들이 당화 효소에 더 쉽게 접근되도록 합니다.

アミロペクチンの枝分かれ点は、 $\beta$ -アミラーゼやグルコアミラーゼの進行を制限します。 $\beta$ -アミラーゼは非還元末端から規則的にマルトースを切り出しますが、分岐点に近づくとも作用が止まりやすく、限界デキストリンが残ります。グルコアミラーゼはより広くデキストリンを分解できますが、分岐構造が多い基質では直鎖部分だけを処理する場合に比べて進行が複雑になります。プルラーナーゼはこの「枝の根元」を加水分解し、他の糖化酵素がさらに短い糖へ変換できる直鎖状領域を増やします。近年のプルラーナーゼとでんぷん粒表面の相互作用に関する研究でも、基質表面構造と酵素触媒の適合性が反応性を左右することが示され、でんぷんを単なる均一基質として扱えないことが強調されています<sup>[4]</sup>。

このため、プルラナーゼは「糖化が不十分なときに何でも解決する酵素」ではありません。液化が不足して粘度が高い場合は、まずでんぷんが十分に可溶化され、アミラーゼがアクセスできる状態であることが重要です。 $\beta$ -グルカン由来の粘度やろ過不良が主因であれば、プルラナーゼではなく $\beta$ -グルカナーゼ系の役割が中心になります。タンパク質由来の混濁や酵母栄養に関わる課題であれば、プロテアーゼの文脈で考えるべきです。プルラナーゼの対象は、あくまででんぷん糖化で残る分岐デキストリンです。

## $\alpha$ -アミラーゼ、グルコアミラーゼとの相補関係

醸造現場でプルラナーゼを理解する最も実用的な方法は、他の糖化酵素との分担を見ることです。 $\alpha$ -アミラーゼはでんぷん鎖の内部を切るため、液化と粘度低下に強く関与します。これにより、未糊化または高分子のままでは扱いにくいでんぷんが、可溶性デキストリンへ移行します。ただし、 $\alpha$ -アミラーゼの主な結果はデキストリン化であり、それだけでは高い発酵性に直結しません。ビール製造の化学的整理では、糖化段階で複数の酵素が連続的に関与し、生成される糖組成が最終的な発酵と香味設計に影響することが示されています<sup>[1]</sup>。

$\beta$ -アミラーゼは、麦汁中の主要発酵性糖であるマルトース生成に関与します。麦芽由来酵素が十分に働く伝統的な仕込みでは、 $\beta$ -アミラーゼの活性と糖化条件がマルトース比率に大きく影響します。一方、高副原料仕込みや高重力仕込みでは、麦芽由来酵素だけでは糖化余力が不足することがあります。未麦芽原料や二次加工穀物の利用では、でんぷんの可溶化、糖化、ろ過性、抽出効率を安定させる技術が重要であり、醸造工程の効率化において外部酵素の利用が検討されます<sup>[5]</sup>。

グルコアミラーゼは、デキストリンをグルコース方向へ深く分解するため、ドライビール、低炭水化物設計、蒸留・発酵アルコール用途に近い高発酵度設計と相性があります。ただし、分岐デキストリンが多い場合、グルコアミラーゼだけでは糖化の進行が想定より遅くなる、または残デキストリンが残ることがあります。プルラナーゼを組み合わせると、分岐点が開かれ、グルコアミラーゼが作用できる末端や直鎖部分が増えます。酵素反応の解析では、単純な一酵素一基質モデルだけでは実際の機構を識別しにくいことが指摘されており、実際の醸造糖化のような複合基質系では、酵素の役割分担を機構別に整理する必要があります<sup>[6]</sup>。



Figure 2. 조율된 전분 전환 과정에서  $\alpha$ -아밀라아제는 덱스트린을 만들고, 풀룰라나아제는 분지 장벽을 제거하며, 당화 효소는 발효 가능한 당의 생성을 증가시킵니다.

酵素	主な作用対象	醸造での主な役割	プルラーゼとの関係
$\alpha$ -アミラーゼ	でんぷん主鎖の内部結合	液化、粘度低下、デキストリン生成	プルラーゼが作用しやすい可溶性基質を作る前段階になりやすい
$\beta$ -アミラーゼ	非還元末端側の直鎖部分	マルトース生成、発酵性向上	分岐点が除かれると、作用できる直鎖領域が増える
グルコアミラーゼ	デキストリン末端	グルコース生成、高発酵度化	プルラーゼが分岐を開くことで分解深度を高めやすい
プルラーゼ	$\alpha$ -1,6分岐結合	脱分岐、限界デキストリン低減	主鎖分解酵素と組み合わせて糖化の詰まりを減らす
$\beta$ -グルカナーゼ	$\beta$ -グルカン	粘度、ロイタリング、ろ過性の改善	糖化度ではなく物性改善が中心で、役割が異なる
プロテアーゼ	タンパク質、ペプチド	酵母栄養、混濁、口当たりへの影響	でんぷん分岐処理とは対象が異なる

## 高副原料仕込みでプルラーゼが有効になりやすい場面

副原料を多く使うビールでは、麦芽比率が下がるため、麦芽由来酵素だけに依存した糖化が不安定になることがあります。米やトウモロコシは澄んだ風味や軽いボディ設計に使われる一方、原料処理の仕方によっては糖化効率に差が出ます。ソルガム、キャッサバ、豆類由来原料など、地域性や

機能性を狙った原料を使う場合も、でんぷんやタンパク質の性質が麦芽とは異なります。豆類ベース麦汁の醸造適性を評価した研究では、非伝統的原料を麦汁として扱う際に、糖組成、発酵性、香味、工程適性を総合的に見る必要があることが示されています<sup>[7]</sup>。

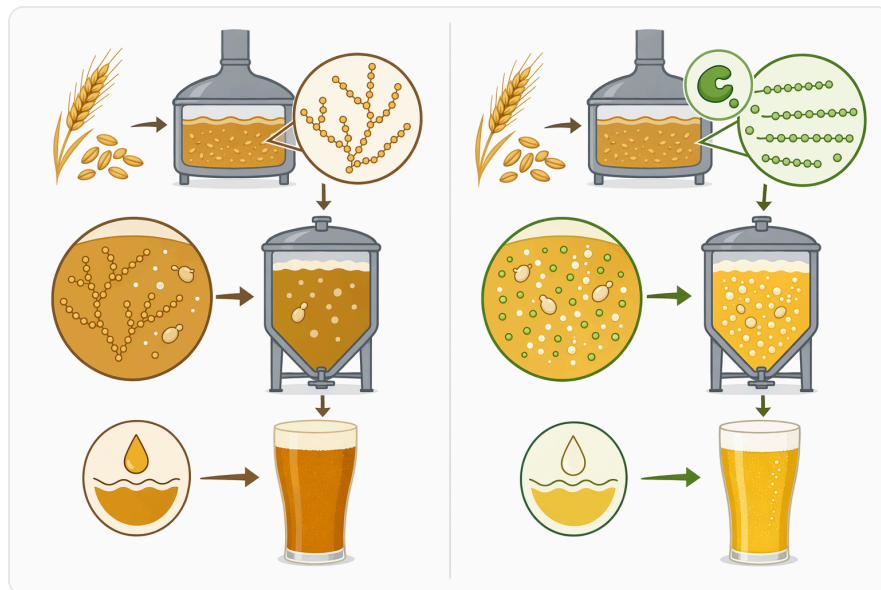
プルラナーゼは、高副原料仕込みで「麦芽酵素の不足をすべて補う」ものではありませんが、でんぷん由来デキストリンの分岐構造が発酵度を制限している場合に有効です。特に、 $\alpha$ -アミラーゼで液化されているにもかかわらず、最終的な発酵性糖の比率が伸びない場合、残っているデキストリンの構造に分岐点が多い可能性があります。プルラナーゼが分岐点を処理すると、 $\beta$ -アミラーゼによるマルトース生成やグルコアミラーゼによるグルコース生成が進みやすくなります。これは、高重力醸造でアルコール収率を高めたい場合や、ライトラガーのようにすっきりした飲み口を設計する場合に重要です。

副原料利用では、糖化だけでなく、色、香味、濁り、泡、口当たりも変化します。ビールの色は原料、麦芽焙燥、メイラード反応、煮沸、発酵、熟成など多段階の影響を受けるため、酵素による糖化改善だけで最終外観を単純に予測することはできません。クラフトビールや現代的な製品開発では、原料選択と工程設計が多様化しており、酵素はその一部として位置づけられます<sup>[8]</sup>。

## ドライビール、ライトビール、低残糖設計での意味

ドライビールやライトビールでは、麦汁中の発酵可能糖を高め、最終製品の残糖感やデキストリン由来の厚みを抑える設計が求められます。ここでプルラナーゼが関与するのは、残りやすい分岐デキストリンを減らす部分です。グルコアミラーゼと組み合わせる場合、プルラナーゼは基質側の障害を取り除き、より小さな糖への変換を進める補助をします。結果として、酵母が利用できる糖の比率が高まり、よりドライな官能設計に近づきます。

ただし、発酵性を高めることは常に品質向上を意味しません。ビールのボディ、口当たり、甘味の余韻、泡持ち、香味のバランスは、残デキストリンやタンパク質、多糖類の存在にも支えられています。プルラナーゼによって分岐デキストリンが過度に減ると、狙った厚みが失われ、薄い印象になることがあります。クラフトビールの研究レビューでも、製品の多様性は原料、酵母、工程、消費者知覚の組み合わせで成立するものとして整理されており、酵素処理はスタイル設計の目的に合わせて使う必要があります<sup>[9]</sup>。



**Figure 3.** 풀룰라나아제는  $\alpha$ -아밀라아제,  $\beta$ -아밀라아제, 글루코아밀라아제와 달리, 양조에서의 주된 역할이 액화나 직접적인 당 방출이 아니라 가지 제거라는 점에서 차이가 있습니다.

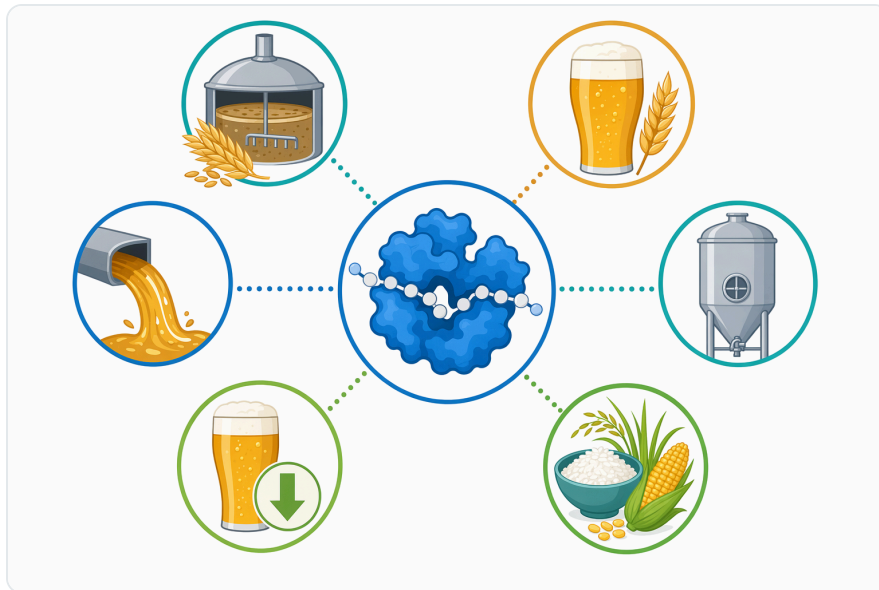
低炭水化物や低残糖を意識した設計では、プルナーゼは有用な工程選択肢です。しかし、最終的な糖質表示や栄養成分は、原料配合、糖化、発酵、ろ過、希釈、最終製品規格など複数の要因で決まります。プルナーゼはそのうち「でんぷん由来分岐デキストリンを発酵性糖へ近づける」部分に寄与します。酵母が実際にどの糖をどの程度利用するかは、酵母株と発酵条件にも依存します。

## 高重力醸造と発酵アルコール収率への関与

高重力醸造では、通常より濃い麦汁を仕込み、発酵後に目的の製品濃度へ調整することがあります。この設計では、設備効率を高められる一方、麦汁粘度、浸透圧、酵母ストレス、発酵遅延、残糖増加が課題になります。糖化段階で発酵性糖を十分に確保できないと、濃い麦汁であるにもかかわらず、酵母が利用しにくいデキストリンが多く残り、狙ったアルコール収率に届きにくくなります。

プルナーゼは、高重力醸造において、分岐デキストリンを減らし、糖化酵素が作る発酵性糖の比率を高める方向に働きます。特に、 $\alpha$ -アミラーゼで液化した後に残る枝分かれデキストリンは、単純な主鎖切断だけでは処理しにくいいため、脱分岐酵素の意味が明確になります。酵素反応では、基質濃度、生成物、酵素の状態、反応時間によって見かけの速度や到達点が変わるため、高重力条件では通常仕込み以上に糖化ネットワーク全体のバランスが重要になります<sup>[10]</sup>。

発酵アルコールや蒸留用途に近い設計では、官能的なボディよりも糖化効率と発酵可能糖の最大化が重視されることがあります。ビールでは香味と口当たりが重要であるため、蒸留用途と同じ発想をそのまま適用できるわけではありません。それでも、でんぷんを発酵可能糖へ変換するという共通課題において、プルナーゼはグルコアミラーゼや $\alpha$ -アミラーゼと相補的に働く酵素です。



**Figure 4.** 풀라라나아제는 분지형 덱스트린이 발효성을 제한할 수 있는 드라이하고 고도로 감쇠된 맥주, 저탄수화물 제형, 부재료 양조, 고농도 양조 공정에서 특히 중요합니다.

## 酵素反応として見たプルラナーゼの実務的な理解

プルラナーゼの働きを工程で考えるときは、「酵素を加えたかどうか」よりも、「酵素が対象結合にアクセスできるか」が重要です。でんぷん粒が十分に糊化・液化していない状態では、分岐点が存在していても酵素が届きにくいことがあります。逆に、 $\alpha$ -アミラーゼによって可溶性デキストリンが増えた後であれば、プルラナーゼが分岐点へ作用しやすくなります。プルラナーゼとでんぷん粒表面の反応性を扱う研究は、表面構造と触媒作用の適合が反応を左右することを示しており、基質の物理状態が酵素効果に直結することを裏付けます<sup>[4]</sup>。

また、酵素反応は単一の直線的な工程ではありません。麦汁中では、でんぷん、デキストリン、オリゴ糖、糖、タンパク質、ミネラル、ポリフェノールが共存し、温度やpHの履歴も変化します。複数の酵素が同時または連続して働く場合、ある酵素の生成物が別の酵素の基質になります。プルラナーゼの場合、生成物そのものよりも、他の酵素が利用できる構造を増やす点が重要です。酵素機構の識別は、単純な速度式だけでは難しい場合があるため、醸造での効果も糖組成、発酵挙動、官能目標と合わせて解釈する必要があります<sup>[6]</sup>。

この理解に基づくと、プルラナーゼは糖化工程の「深度」を調整する酵素です。ボディを残したいビールでは、深い糖化が必ずしも望ましくありません。一方、ドライなフィニッシュ、高い見かけ発酵度、低残糖、原料利用効率を重視する設計では、分岐デキストリンを減らすことが合理的です。つまり、プルラナーゼの価値は、製品コンセプトと糖化上の制約が一致したときに最大化されます。

## ビール品質への影響：発酵性、ボディ、風味のバランス

プルラーゼの直接的な作用対象は糖質ですが、その結果は発酵と官能品質に波及します。発酵性糖が増えると、酵母はより多くの糖をアルコールと二酸化炭素へ変換できます。残デキストリンが減ると、甘味の余韻や粘性は下がりやすく、ドライで軽い印象になります。これはライトビールや高発酵度ラガーには望ましい場合がありますが、スタウト、ボック、ヘイジー系、モルトの厚みを重視するエールでは、過度なデキストリン低減が製品らしさを損なう可能性があります。

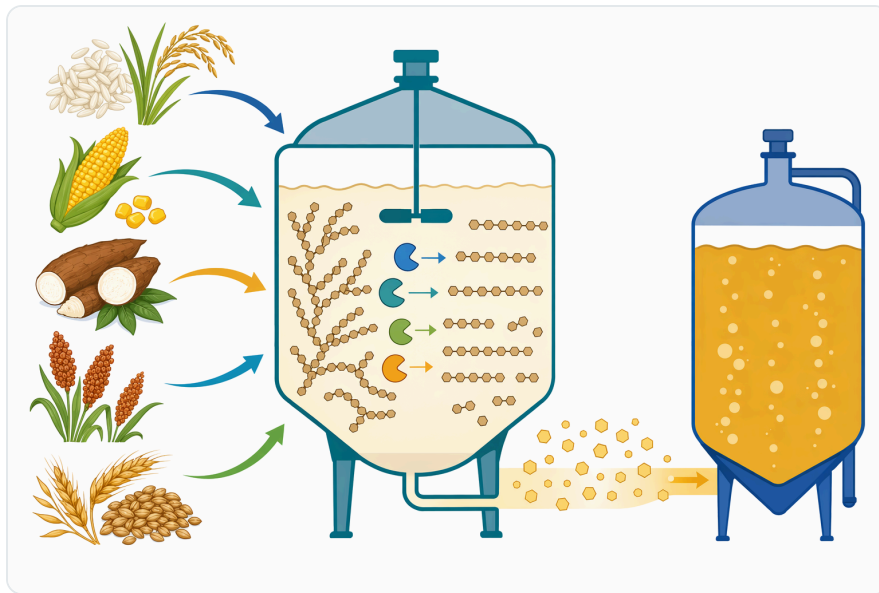


Figure 5. 부재료 비중이 높은 레시피는 비보리 전분이 분지형 덱스트린 성분을 제공할 때, 의도적인 전분 전환 보조를 통해 이점을 얻을 수 있습니다.

発酵性の上昇は、酵母代謝にも影響します。糖組成が変わると、発酵速度、発酵終了時の残糖、アルコール生成、エステルや高級アルコールのバランスが変わることがあります。ジアスタティックな *Saccharomyces cerevisiae* の応用に関するレビューでは、酵母側の糖質分解能力がビール、蒸留、バイオ燃料分野で重要な意味を持つことが整理されており、糖化酵素と酵母の能力が最終発酵性を共同で決めることが分かります<sup>[11]</sup>。

色や香りについては、プルラーゼが直接色素や香気成分を作るわけではありません。ただし、糖化の進み方が煮沸中の反応、発酵挙動、残糖感に影響するため、間接的な官能差は生じ得ます。ビール色の形成は原料、熱履歴、化学反応、工程操作にまたがる複合現象であり、糖化酵素の影響だけを切り出して一般化することは避けるべきです<sup>[8]</sup>。

## どのような醸造設計に向くか

Pullulanase Enzyme For Beer Brewingが適しやすいのは、第一に、最終発酵度を高めたい設計です。 $\alpha$ -アミラーゼ処理後にデキストリンが残り、グルコアミラーゼや $\beta$ -アミラーゼの作用をさらに引き出したい場合、プルラナーゼは分岐点を開いて糖化を進めやすくします。ドライビール、ライトビール、糖質を抑えた製品、高発酵度ラガーでは、この作用が製品設計と一致しやすくなります。

第二に、高副原料仕込みです。米、トウモロコシ、ソルガム、キャッサバ、豆類系原料など、麦芽以外のでんぷん質原料を使う場合、原料ごとの糊化特性や酵素アクセス性が異なります。非伝統的原料を使う醸造では、糖化、発酵性、香味、消費者受容を一体で考える必要があり、酵素は原料多様化を支える技術要素になります<sup>[7]</sup>。

第三に、高重力醸造やアルコール収率を意識した設計です。濃い麦汁では、未発酵デキストリンが多く残ると、原料投入量に対する発酵効率が下がります。プルラナーゼは、分岐デキストリンを直鎖化し、他の糖化酵素が利用できる範囲を広げることで、発酵可能糖の確保を支援します。ただし、酵母の耐性、栄養、酸素供給、発酵温度管理が不十分な場合、糖化だけを深めても発酵が十分に進むとは限りません。

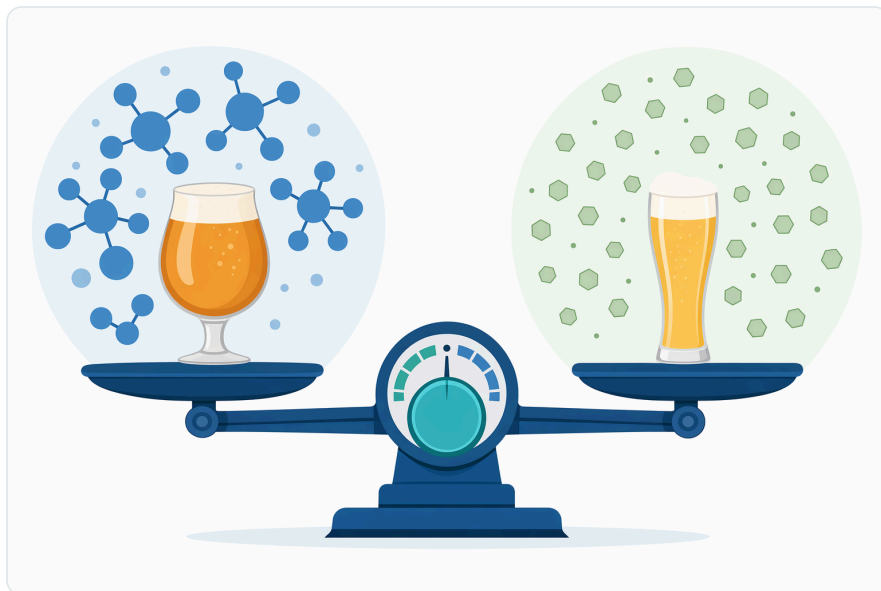


Figure 6. 발효 가능한 당과 잔류 덱스트린의 비율이 달라지면 맥주의 특성은 더 풍부한 단맛이나 더 드라이한 마무리 쪽으로 이동합니다.

## 向かない、または慎重に扱うべき設計

---

プルラナーゼは、すべてのビールに必要な酵素ではありません。フルボディ、濃厚なモルト感、甘味の余韻を狙うビールでは、残デキストリンが官能品質を支える要素になります。こうしたスタイルで過度に脱分岐を進めると、口当たりが軽くなりすぎ、アルコール感だけが目立つことがあります。特に、麦芽の厚みや残糖感をスタイルの特徴としている製品では、プルラナーゼの目的を明確に限定する必要があります。

また、ろ過性やロイタリングの問題をプルラナーゼで解決しようとするのは適切ではありません。粘度やろ過速度に大きく関わるのは、でんぷんデキストリンだけでなく、 $\beta$ -グルカンやアラビノキシランなどの非でんぷん多糖です。プルラナーゼはでんぷん分岐の処理に特化した考え方で使うべきであり、粘度問題の主因が別の多糖にある場合は、別系統の酵素が対象になります。

タンパク質関連の課題にも同じことが言えます。酵母栄養、泡、混濁、口当たりはタンパク質やペプチドの影響を受けますが、プルラナーゼはタンパク質を分解しません。したがって、プルラナーゼを評価するときは、糖化と発酵性への寄与に焦点を当て、別の品質課題と混同しないことが重要です。

## Enzymes.bioでの製品利用の位置づけ

---

Enzymes.bioは、Pullulanase Enzyme For Beer Brewingを含む醸造関連酵素を供給するオンライン販売事業者です。製品は1kg単位で直接購入でき、注文時にCoAおよびSDSが提供されます。これは、醸造事業者が製品情報と安全情報を確認しながら、必要な酵素を工程目的に合わせて導入するための実務的な供給形態です。

重要なのは、Enzymes.bioを製造業者や研究所としてではなく、酵素供給者として理解することです。そのため、本製品の説明も、製造条件や研究開発の詳細ではなく、ビール醸造におけるプルラナーゼの役割、他の酵素との違い、発酵性や残デキストリンへの影響を中心に整理するのが適切です。プルラナーゼを導入する意味は、製品名そのものではなく、糖化工程で分岐デキストリンが発酵度の制約になっているかどうかにあります。



Figure 7. 풀룰라나아제는 발효가 완료되었을 때 잔류 덱스트린, 바디감, 단맛을 줄임으로써 향과 풍미의 인식에 간접적으로 영향을 미칩니다.

## まとめ：プルラーゼは「糖化の分岐点」を処理する工程酵素

Pullulanase Enzyme For Beer Brewingは、ビール醸造において、でんぷん糖化の深度を高めるための脱分岐酵素です。 $\alpha$ -アミラーゼがでんぷんを可溶化してデキストリンを作り、 $\beta$ -アミラーゼやグルコアミラーゼが発酵性糖を増やす中で、プルラーゼはアミロペクチン由来の $\alpha$ -1,6分岐点を処理し、他の糖化酵素が働きやすい構造を作ります。プルラーゼの基質特異性とでんぷん分岐処理の位置づけは、アミラーゼ機能と脱分岐機能を区別して示した酵素研究からも理解できます<sup>[2]</sup>。

この酵素が特に意味を持つのは、高副原料仕込み、ドライビール、ライトビール、低残糖設計、高重力醸造、発酵アルコール収率を重視する工程です。一方で、ボディや残糖感を重視するビールでは、過度な糖化が望ましくない場合があります。プルラーゼは万能な品質改善剤ではなく、分岐デキストリンが糖化と発酵性を制限しているときに使う、目的の明確な工程酵素です。

Enzymes.bioが供給する本製品は、1kg単位でオンライン直接購入できる醸造向け酵素として、糖化工程の再現性や発酵性を高めたい事業者に適しています。CoAとSDSは注文時に併せて提供されるため、製品受入と安全確認の情報として利用できます。プルラーゼを合理的に使う鍵は、他の糖化酵素との役割分担を理解し、最終ビールの発酵度、ボディ、残糖感、スタイル設計に合わせて位置づけることです。

## Pullulanase Enzyme For 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 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. Neto, D. M. C., Ferreira, L. L. P., Sad, C. M. S., Borges, W. S., Castro, E. V. R., Filgueiras, P. R., & Jr., V. L. (2020). Chemical Concepts Involved in Beer Production: A Review. *Revista Virtual de Quimica*.
2. 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 .
3. Schellenberger, V., Siegel, R. A., & Rutter, W. J. (1993). Analysis of enzyme specificity by multiple substrate kinetics. *Biochemistry*, 32 16, 4344-8 .
4. Wang, Y., Tian, Y., Rennison, A. P., Blennow, A., Westh, P., Svensson, B., & Møller, M. S. (2025). Applying the Sabatier Principle to Decipher the Surface-Structure-Dependent Catalysis of Different Starch Granules by Pullulanase. *JACS Au*, 5, 55 - 60.
5. Telezhenko, L., & Dubyna, A. (2025). ANALYSIS OF EXISTING TECHNOLOGIES FOR SECONDARY PROCESSING OF GRAIN RAW MATERIALS IN BEER PRODUCTION. *Grain Products and Mixed Fodder's*.
6. Schnell, S., Chappell, M., Evans, N., & Roussel, M. (2006). The mechanism distinguishability problem in biochemical kinetics: the single-enzyme, single-substrate reaction as a case study. *Comptes rendus. Biologies*, 329 1, 51-61 .
7. Deoghare, N., Sarlin, T., & Krogerus, K. (2025). Evaluating the Potential of Legume-Based Wort for Brewing Applications. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 83, 176 - 191.
8. Ualema, N. J. M., Santos, L. N. D., Bogusz, S., & Ferreira, N. (2024). From Conventional to Craft Beer: Perception, Source, and Production of Beer Color—A Systematic Review and Bibliometric Analysis. *Foods*, 13.
9. Gobbi, L., Stanković, M., Ruggeri, M., & Savastano, M. (2024). Craft Beer in Food Science: A Review and Conceptual Framework. *Beverages*.
10. Frenzen, C., & Maini, P. (1988). Enzyme kinetics for a two-step enzymic reaction with comparable initial enzyme-substrate ratios. *Journal of Mathematical Biology*, 26, 689-703.

11. Nemenyi, J. L., Cárdenas-Pinto, S., Martin-Ryals, A., Boz, Z., Budner, D., MacIntosh, A., Zhang, B., ... et al. (2024). Applications of diastatic *Saccharomyces cerevisiae* in brewing, distilling and biofuel production. *Journal of the Institute of Brewing.*

## 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。