

Thermostable Alpha-Amylase for Starch Hydrolysis in Ethanol Industry | デンプン系エタノール液化用耐熱性 α -アミラーゼ

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

Thermostable Alpha-Amylase for Starch Hydrolysis in Ethanol Industry は、デンプン系原料を用いるエタノール製造で、糊化したデンプンを短鎖デキストリンへ切断し、スラリー粘度を下げ、後段の糖化・発酵へつなげる耐熱性 α -アミラーゼです。主な役割は「液化」であり、酵母が直接利用しにくい高分子デンプンを、グルコアミラーゼなどが処理しやすい状態へ変えることにあります。Enzymes.bioでは本製品を1 kg単位でオンライン直接販売しており、CoAおよびSDSは注文時に併せて提供されます。

エタノール産業での位置づけ： α -アミラーゼは「発酵」ではなく「液化」を支える酵素

デンプン系エタノール製造では、原料中のデンプンをそのまま酵母へ与えても効率的な発酵基質にはなりません。デンプンはアミロースとアミロペクチンを主体とする高分子で、酵母が主に利用するグルコースなどの低分子糖とはサイズも結合様式も異なります。耐熱性 α -アミラーゼは、デンプン分子内部の α -1,4-グリコシド結合をエンド型に切断し、長鎖を急速に短くすることで、粘度低下、可溶化、デキストリン化を同時に進めます。キャッサバデンプンを対象に、酵素加水分解、発酵、分離工程を組み合わせたバイオエタノール生産研究が報告されており、デンプン原料では酵素的な糖化前処理が発酵工程の前提になることが示されています^[1]。

この酵素が「耐熱性」であることは、単なる安定性の問題ではなく、デンプン処理の物理化学と直結します。デンプン粒は水と熱により膨潤し、結晶性が崩れて糊化しますが、この段階でスラリー粘度が急上昇します。 α -アミラーゼが高温側の液化条件で働けると、糊化によって開いたデンプン鎖へすぐに作用し、粘度上昇を抑えながら後段糖化酵素がアクセスしやすいデキストリンを生成できます。混合廃棄ベーカリー製品からのバイオエタノール研究でも、液化温度と酵素処理がエタノール生産に影響する因子として扱われており、デンプンを含む加工食品系原料でも液化条件が重要であることが示されています^[2]。

Enzymes.bioが供給する Thermostable Alpha-Amylase For Starch Hydrolysis In Ethanol Industry は、こうしたデンプン液化用途を想定したオンライン販売品です。Enzymes.bioは製造業者や研究機関としてではなく、B2B向けの酵素供給元として本製品を提供します。製品は1 kg単位でオンライン購入でき、注文に付随してCoAとSDSが提供されるため、購入者は製品情報と安全情報を同じ注文フローで受け取れます。

作用機序：デンプン鎖を内側から切り、粘度と分子量を同時に下げる

α -アミラーゼの実務上の価値は、グルコースを直接大量に作るのではなく、まず高分子デンプンを液化する点にあります。アミロースは主に直鎖状の α -1,4結合で構成され、アミロペクチンは α -1,4結合の鎖に α -1,6分岐を持ちます。 α -アミラーゼは主として α -1,4結合を内部から切断するため、反応初期に分子量が大きく下がり、スラリーの流動性が改善します。キャッサバデンプンをグルコースへ変換する条件を検討した研究では、アミラーゼによる酵素加水分解がデンプン糖化の中心工程として扱われています^[3]。

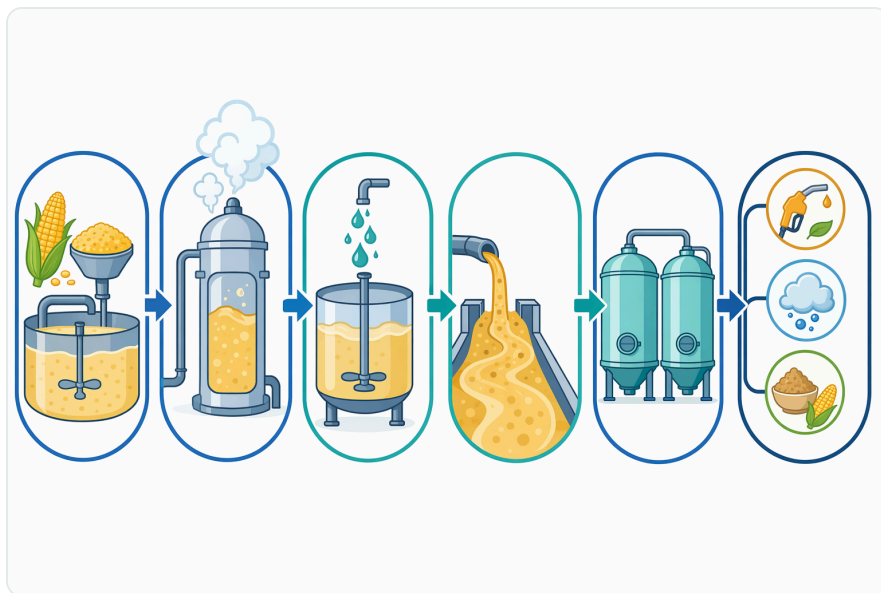


Figure 1. 내열성 알파-아밀레이스는 당화와 효모 발효 전에 익힌 전분을 액화하여 전분을 에탄올로 전환하는 공정의 초기 단계에 적합하다.

液化工程で生成するデキストリンは、発酵の最終基質ではなく、糖化工程への中間体です。通常、液化後のデキストリンはグルコアミラーゼなどにより非還元末端からグルコースへ分解され、酵母発酵に適した糖液へ近づきます。理論上、デンプンの無水グルコース単位は加水分解によりグルコースへ変換され、グルコースは酵母によってエタノールと二酸化炭素へ変換されます。このため、液化の成否は「発酵前の糖濃度」だけでなく、攪拌負荷、熱移動、後段酵素の接触効率にも影響します。Oxalis tuberosaデンプンを対象にした研究でも、酵素加水分解とアルコール発酵を連結してエタノール生産を評価しており、デンプン性作物では加水分解段階が発酵結果と不可分であることが確認されています^[4]。

耐熱性 α -アミラーゼが高温液化に適する理由は、デンプンの糊化と酵素反応を時間的に近づけられるからです。加熱で粒構造が崩れた直後のデンプンは酵素にとってアクセスしやすい一方、粘度が高くなりやすく、処理が遅れると混合不良が起りやすくなります。耐熱性酵素であれば、デンプンが膨潤・糊化する温度帯に近い条件で反応を進めやすく、粘度が上がり切る前に鎖長を短くできます。緑ソバデンプンの酵素加水分解における還元性物質の生成を扱った研究でも、デンプン原料の処理条件が糖生成に影響することが示されており、液化前後の物理状態を無視できません^[5]。

デンプン系エタノール工程における役割分担

デンプン系エタノール工程は、単一酵素で完結する反応ではなく、原料調製、糊化、液化、糖化、発酵、分離が連続する工程です。耐熱性 α -アミラーゼはこのうち液化段階で最も大きな意味を持ち、後段の糖化酵素や酵母が働きやすい状態を作ります。高固形分条件では粘度が工程全体の制限要因になりやすく、液化が不十分な場合、ポンプ移送、攪拌、熱交換、酵素分散が悪化します。高固形分バイオエタノール生産の前処理・加水分解技術に関するレビューでも、加水分解効率と工程統合が高濃度糖液・高エタノール濃度を得るうえで重要な論点として扱われています^[6]。

工程段階	主な変化	耐熱性 α -アミラーゼの関与	エタノール収率への間接的な影響
原料スラリー化	粉碎原料と水の混合、デンプン粒の分散	直接の主反応は少ないが、均一分散が後の液化を左右する	混合不良があると局所的な未反応デンプンが残りやすい
糊化	デンプン粒が膨潤し、結晶性が崩れる	糊化直後の開いた鎖へ作用しやすくなる	酵素アクセス性が高まり、後段糖化の基盤ができる
液化	長鎖デンプンがデキストリンへ短鎖化	中心的役割。 α -1,4結合を内部切断し粘度を下げる	攪拌・熱移動・糖化酵素接触を改善する
糖化	デキストリンがグルコースなどへ分解	主役は糖化酵素だが、液化品質が基質性を決める	発酵可能糖の生成量と速度に影響する
発酵	酵母が糖をエタノールへ変換	直接発酵は行わない	糖供給の均一性が発酵の進行に影響する

液化と糖化を区別することは、製品理解のうえで重要です。 α -アミラーゼはデンプン鎖を短くするのが得意ですが、グルコースを主生成物として最大化する酵素ではありません。したがって、エタノール発酵用の糖液を得るには、 α -アミラーゼによる液化の後に、糖化酵素で発酵可能糖を増やす工程設計が一般的です。非食用デンプン原料からのバイオエタノール生産を最適化・特性評価した研究でも、デンプン原料の加水分解と発酵を組み合わせ評価しており、原料デンプンを糖へ変換する段階が全体性能の中心に置かれています^[7]。

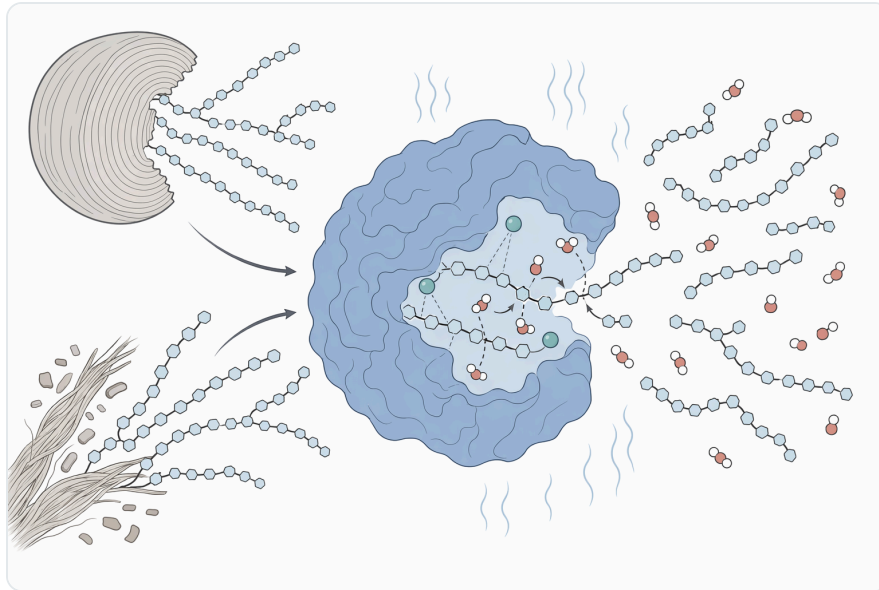


Figure 2. 알파-아밀레이스는 아밀로스 및 아밀로펙틴의 내부 α -1,4 결합을 절단해 더 짧은 덱스트린과 말토올리고당을 형성하는 엔도형 효소이다.

原料別に見る適用範囲：キャッサバ、塊茎、穀類、副産物

耐熱性 α -アミラーゼの対象は、デンプンを多く含む原料です。典型例はトウモロコシ、小麦、米、キャッサバ、ジャガイモ、サツマイモ、ヤム類、雑穀、塊茎作物、またはデンプンを含む食品加工副産物です。ただし、同じ「デンプン原料」でも、粒径、アミロース比率、脂質・タンパク質との複合体、繊維分、前処理履歴により、糊化挙動と酵素アクセス性は変わります。キャッサバデンプンを対象にした酵素加水分解・発酵・ナノろ過の研究は、デンプン系原料からエタノールへ至る一連の変換を示す代表的な事例です^[1]。

キャッサバはデンプン含量が高く、穀類と異なる農業供給体系を持つため、デンプン系バイオエタノール研究で頻繁に扱われます。米由来アミラーゼによるキャッサバデンプンのグルコース化条件を調べた研究は、酵素の種類、基質、処理条件の組み合わせが糖生成に影響することを示しています。ここで重要なのは、文献上の条件が特定の酵素・基質・実験系に依存する点です。耐熱性 α -アミラーゼというカテゴリーの有用性は支持されますが、個別研究の数値条件をそのまま別工程へ移植できるわけではありません^[3]。

塊茎系原料では、*Oxalis tuberosa*のような地域性のあるデンプン作物も検討されています。こうした原料では、食料用途との競合、乾物含量、貯蔵性、粉碎性、デンプン粒構造が工程設計に影響します。酵素加水分解とアルコール発酵を連結した研究は、非典型的なデンプン作物でも、液化・糖化・発酵の基本構造が成り立つことを示しています^[4]。

食品加工副産物では、ベーカリー廃棄物のように、すでに加熱履歴を持つデンプンが含まれる場合があります。このような原料は、未加工穀粒とは異なり、デンプンの一部が糊化・老化している可能性があり、酵素作用の受けやすさも変わります。混合廃棄ベーカリー製品を用いた研究では、液化温度と酵素処理がバイオエタノール生産に関係する因子として評価されており、加工副産物を原料化する場合にも液化設計が要点になります^[2]。

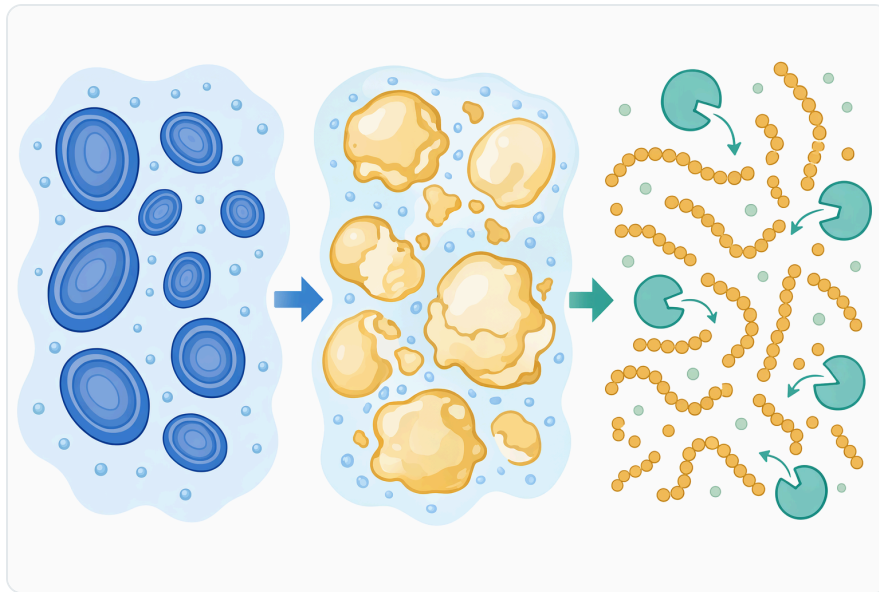


Figure 3. 전분을 물과 함께 가열하면 과립 구조가 붕괴되어 전분 사슬이 알파-아밀레이스에 더 쉽게 접근 가능해진다.

耐熱性が工程にもたらす具体的な利点

耐熱性 α -アミラーゼの第一の利点は、糊化に近い温度環境でデンプン鎖を切断できることです。デンプン粒は加熱で水を取り込み、膨潤し、結晶構造が崩れることで酵素が入り込みやすくなります。一方、この変化は急激な粘度上昇を伴います。耐熱性酵素が存在すると、膨潤した鎖を早い段階で短くし、スラリーを扱いやすい状態へ移行させることができます。高固形分バイオエタノール生産では、基質濃度を上げるほど混合と加水分解の制約が大きくなるため、液化段階の粘度制御が工程全体に波及します^[6]。

第二の利点は、後段糖化の基質品質を安定させやすいことです。 α -アミラーゼが十分に働くと、長鎖デンプンが短鎖デキストリンに変わり、糖化酵素が作用する末端やアクセス可能領域が増えます。液化が不十分な場合、糖化酵素を加えても未溶解または高分子のまま残る部分が増え、発酵可能糖の生成が遅れる可能性があります。ネイティブデンプンの前処理と固定化 α -アミラーゼによる酵素加水分解を同時最適化した研究は、前処理とアミラーゼ反応が糖化効率に結びつくことを示しています^[8]。

第三の利点は、工程変動に対する余裕です。産業スケールでは、原料ロット、水分、粒度、投入順序、熱履歴、攪拌状態が一定ではありません。耐熱性酵素は、温度が高めに推移する液化工程で失活しにくい設計思想に適しており、処理中の一時的な温度変動に対して工程の頑健性を高めます。ただし、「耐熱性」は無制限に高温で働くという意味ではなく、酵素タンパク質である以上、過度な熱履歴や不適切なpHでは活性低下が起こり得ます。デンプンおよび難消化性デンプンを酵素法で生産した研究でも、デンプン構造と機能特性は処理条件に依存しており、酵素反応は原料構造と工程条件の組み合わせで理解する必要があります^[9]。

デンプン原料とリグノセルロース原料を混同しない

Thermostable Alpha-Amylase For Starch Hydrolysis In Ethanol Industry は、デンプン系原料の液化を主目的とする酵素です。セルロース、ヘミセルロース、リグニンを主体とするリグノセルロース原料では、 α -アミラーゼだけでは糖化の中心反応を担えません。リグノセルロース系バイオマスでは、リグニン除去、セルロース結晶性の低下、ヘミセルロース分解、酵素アクセス性の改善などが必要であり、セルラーゼやヘミセルラーゼを含む別の酵素系と前処理が中心になります。高固形分リグノセルロース系バイオエタノールに関するレビューでも、前処理と加水分解技術の統合が主要課題として整理されています^[6]。



Figure 4. 알파-아밀레이스, 글루코아밀레이스, 효모는 각각 액화, 포도당 방출, 에탄올 발효라는 서로 다른 역할을 수행한다.

この区別は、原料評価で特に重要です。たとえば、トウモロコシ粒やキャッサバ根のようにデンプンが主炭水化物であれば、 α -アミラーゼによる液化が工程の核になります。一方、トウモロコシ茎葉、麦わら、木質チップ、ユーカリ材のような原料では、主な糖源はセルロースやヘミセルロース

であり、リグニンが酵素アクセスを妨げます。ユーカリ材を対象にアルカリ過酸化前処理によるリグニン除去と酵素加水分解を扱った研究は、リグノセルロース原料ではデンプン液化とは異なる前処理課題があることを示しています^[10]。

原料タイプ	主な多糖	主な障害要因	α -アミラーゼの役割	必要になりやすい別工程
キャッサバ、穀類、塊茎	デンプン	糊化時の高粘度、粒構造、未溶解分	液化の中心酵素としてデンプン鎖を短鎖化	糖化酵素、酵母発酵
ベーカリー廃棄物など	加工済みデンプン、糖、脂質、タンパク質	熱履歴、油脂、配合差、老化デンプン	デンプン画分の液化に有効	原料均質化、糖化、発酵
わら、コーンストーバー、木質	セルロース、ヘミセルロース	リグニン、結晶性、低アクセス性	デンプンが少なければ限定的	前処理、セルラーゼ系加水分解
雑穀・特殊デンプン	デンプン、難消化性デンプン	粒径、アミロース比率、結晶構造	液化・部分加水分解に関与	原料特性に応じた糖化設計

リグノセルロース系でも「酵素加水分解」という言葉が使われるため、デンプン系工程と混同されやすい点に注意が必要です。前処理済みコーンストーバーやコーンコブから高濃度発酵性糖液とセルロース系エタノールを得るフェドバッチ戦略の研究では、主役はセルロース系基質の加水分解と発酵であり、デンプン液化とは異なる課題設定です^[11]。したがって、本製品の価値は、セルロース主体の原料を単独で糖化することではなく、デンプンを多く含む原料を液化して糖化・発酵へつなぐ点にあります。

酸加水分解との違い：選択性と発酵適性

デンプンを糖へ変換する方法としては、酸加水分解と酵素加水分解の双方が考えられます。酸加水分解は強い化学条件でグリコシド結合を切断できますが、反応の選択性、装置腐食、副生成物、後処理負荷が問題になりやすい方法です。酵素加水分解は、対象結合に対してより選択的に働き、発酵工程へ接続しやすい糖液を作るうえで扱いやすい選択肢として研究されています。キャッサバデンプンからのバイオエタノール生産研究では、酵素加水分解と酵母発酵を組み合わせた工程が検討されており、デンプン系原料では生物触媒を用いた段階的変換が有効なアプローチとして扱われています^[1]。



Figure 5. 내열성 알파-아밀레이스는 에탄올 액화, 전분 시럽, 양조 보조 원료, 섬유 호발 제거 등 다양한 전분 원료와 관련 용도에 활용된다.

ただし、酵素法であっても、すべての課題が自動的に解決するわけではありません。高固形分スラリーでは、酵素が均一に分散しにくく、局所的な粘度、温度、基質濃度の差が反応を不均一にします。非イオン性界面活性剤やポリエチレングリコールの添加が前処理、酵素加水分解、エタノール発酵へ与える影響を扱った研究があるように、加水分解効率は酵素単独ではなく、原料表面、阻害、混合、発酵適性を含む複合要因で決まります^[12]。

実務で重視される性能指標：粘度、糖化接続、発酵安定性

エタノール産業で耐熱性 α -アミラーゼを評価する際、最初に見るべき現象は糖濃度だけではありません。液化酵素としての α -アミラーゼでは、スラリー粘度がどれだけ早く低下するか、未液化塊が残りにくいか、後段糖化で発酵可能糖へ変換しやすいデキストリンが形成されるかが重要です。高粘度スラリーでは攪拌翼周辺だけ反応が進み、タンク内の温度・基質分布が偏ることがあります。高固形分で発酵性糖液を得る研究では、前処理済みバイオマスの投入戦略と酵素加水分解の進行が糖液濃度に影響しており、反応性だけでなく物理的な処理性が重要であることが示されています^[11]。

糖化接続も重要です。 α -アミラーゼ処理で得られたデキストリンが長すぎる、または不均一である場合、糖化工程でグルコース化が遅れることがあります。逆に、液化が適切に進むと、糖化酵素がアクセスしやすい末端や短鎖基質が増え、発酵前糖液の調製が安定します。非食用デンプン原料からのバイオエタノール生産を扱った研究では、原料選択、加水分解、発酵条件が一体として最適化対象になっており、液化だけを単独で切り離して評価しにくいことが分かります^[7]。

発酵安定性の観点では、酵母にとって利用可能な糖が時間的に安定して供給されることが重要です。未液化デンプンが多いと、糖化反応が遅れたり、発酵中に糖供給が偏ったりする可能性があります。また、過度な熱処理や副生成物の発生は酵母の増殖や発酵速度に影響し得ます。Oxalis tuberosaデンプンの酵素加水分解とアルコール発酵を扱った研究は、デンプン原料の加水分解条件と発酵結果を連続したプロセスとして見る必要性を示しています^[4]。

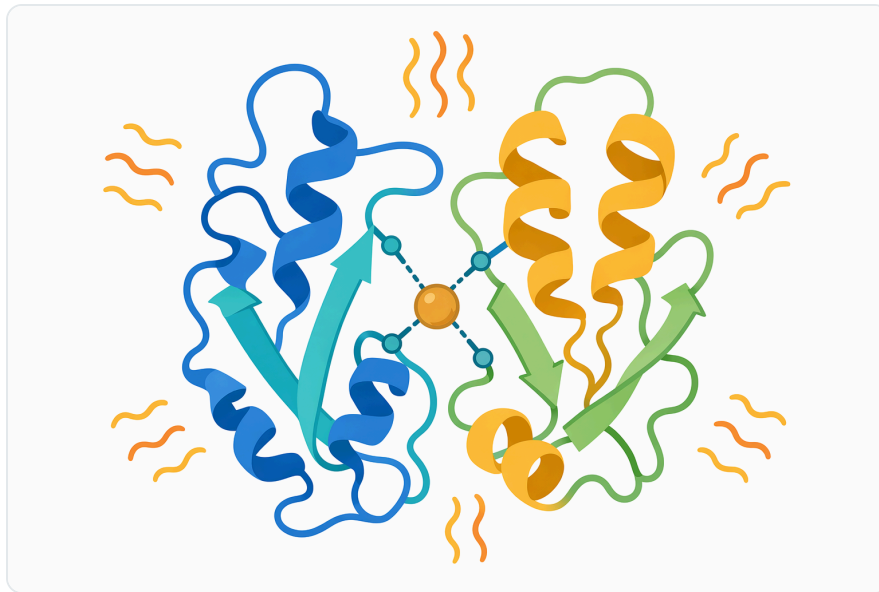


Figure 6. 칼슘 결합은 일부 알파-아밀레이스 구조를 안정화하고 열 스트레스 조건에서 활성을 유지하는 데 도움을 줄 수 있다.

原料特性が酵素反応を変える：粒構造、前処理、加工履歴

同じ耐熱性 α -アミラーゼを用いても、原料が違えば液化挙動は変わります。デンプン粒の大きさ、結晶型、アミロース含量、損傷デンプンの割合、タンパク質や脂質との相互作用、水分保持性は、糊化開始、粘度ピーク、酵素アクセス性を左右します。雑穀であるバーンヤードミレットからデンプンおよび難消化性デンプンを酵素法で生産し、構造・機能特性を比較した研究は、デンプンの由来と処理が物性を変えることを示しています^[9]。

前処理も重要です。粉碎を細かくすれば表面積は増えますが、粉体の水和性やスラリー流動性が変わります。加熱履歴のある食品副産物では、デンプンがすでに糊化している一方、冷却により老化して酵素抵抗性が増している場合もあります。緑ソバデンプンの酵素加水分解で還元性物質の収率を調べた研究は、水相条件の変化が糖生成に影響し得ることを示しており、原料の物理状態と反応環境を合わせて設計する必要があります^[5]。

固定化 α -アミラーゼや前処理を組み合わせた研究も、原料と酵素の接触設計が加水分解効率に影響することを示しています。磁性担体に共有結合固定化した α -アミラーゼを用い、ネイティブデンプンの前処理と酵素加水分解に影響する因子を同時最適化した研究では、デンプン粒の処理状態と酵

素反応が相互に関係することが扱われています^[8]。産業工程では固定化酵素を使うかどうかにかかわらず、「酵素がどれだけ基質へ接触できるか」が液化性能の本質です。

Enzymes.bioでの製品利用イメージ

Enzymes.bioの Thermostable Alpha-Amylase For Starch Hydrolysis In Ethanol Industry は、デンプン系エタノール工程における液化用途の酵素として位置づけられます。想定される利用場面は、デンプン原料スラリーを加熱し、糊化により酵素アクセス性が高まった段階でデンプン鎖を短鎖化し、後段の糖化・発酵へつなぐ工程です。製品は1 kg単位でオンラインから直接購入でき、注文時にCoAとSDSが併せて提供されます。

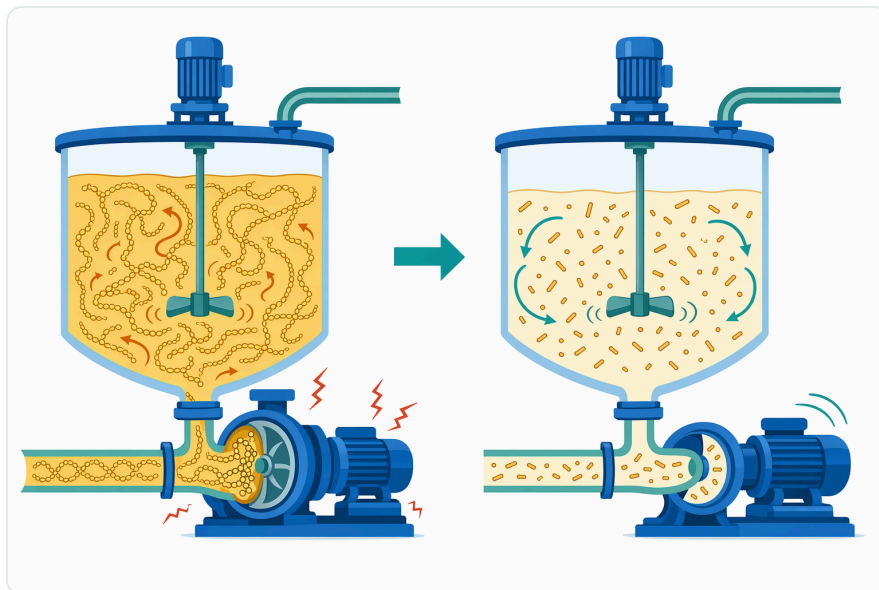


Figure 7. 긴 전분 사슬을 절단하면 슬러리의 점도가 낮아져 혼합, 펌핑, 열전달이 개선된다.

本製品を理解するうえで重要なのは、文献に登場する個別酵素の由来、最適条件、反応結果を、そのまま特定製品の性能保証として読まないことです。研究論文は、耐熱性 α -アミラーゼという酵素群がデンプン加水分解、糖生成、発酵前処理に有効であることを示す根拠になります。一方、実際の工程挙動は、原料、固形分、加熱履歴、pH、攪拌、糖化酵素との組み合わせ、酵母株、発酵方式によって変わります。キャッサバ、塊茎、非食用デンプン原料、加工副産物に関する複数の研究が示すように、デンプン系エタノールでは「酵素の種類」と「原料・工程条件」を一体で考える必要があります^{[1][7]}。

まとめ：耐熱性 α -アミラーゼはデンプン系エタノールの液化工程を安定化する

Thermostable Alpha-Amylase for Starch Hydrolysis in Ethanol Industry は、デンプン系原料をエタノールへ変換する工程で、糊化デンプンを短鎖デキストリンへ分解し、スラリー粘度を下げ、後段の糖化と発酵を進めやすくする耐熱性 α -アミラーゼです。 α -アミラーゼは主に α -1,4結合を内部切断するため、反応初期から分子量低下と液化効果が現れやすく、グルコアミラーゼなどの糖化酵素が働くための基質を整えます。キャッサバデンプン、塊茎デンプン、非食用デンプン原料、加工食品副産物を対象とした研究は、酵素加水分解と発酵を連結する工程設計がデンプン系バイオエタノール生産の中核であることを示しています^{[1][4]}。

一方で、本製品はセルロース主体のリグノセルロース原料を単独で糖化する酵素ではありません。わら、木質、コーンストーバーのような原料では、リグニン除去やセルラーゼ系加水分解など、別の前処理・酵素体系が必要になります。したがって、本製品の適用価値は、デンプンを多く含む原料の液化、粘度低減、糖化前処理、発酵基質調製にあります。Enzymes.bioでは本製品を1 kg単位でオンライン直接販売しており、CoAおよびSDSは注文時に併せて提供されます。

Thermostable Alpha-Amylase For Starch Hydrolysis In Ethanol Industry 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。

[Thermostable Alpha-Amylase For Starch Hydrolysis In Ethanol Industry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. Wangpor, J., Prayoonyong, P., Sakdaronnarong, C., Sungpet, A., & Jonglertjunya, W. (2017). Bioethanol production from cassava starch by enzymatic hydrolysis, fermentation and ex-situ nanofiltration. *Energy Procedia*, 138, 883-888.
2. Almuhammad, M., Kölling, R., & Einfalt, D. (2025). Effect of liquefaction temperature and enzymatic treatment on bioethanol production from mixed waste baked products. *BMC Biotechnology*, 25.

3. Olosunde, A., Kelechi, S. O., & Antia, O. O. (2023). Investigation into Optimal Conditions for Enzymatic Hydrolysis of Cassava Starch to Glucose by Amylase from Rice. *American Journal of Smart Technology and Solutions*.
4. Rafael-Ayala, A., & Vejarano, R. (2024). Ethanol production from Oxalis tuberosa starch: study of enzymatic hydrolysis and alcoholic fermentation. *Proceedings of the LACCEI international multi-conference for engineering, education and technology*.
5. Pogorelov, A., Suvorov, O., Alekseenko, E., & Fomenko, I. (2024). Effect of electrochemically activated aqueous solution on the yield of reducing agents during enzymatic hydrolysis of green buckwheat starch. *E3S Web of Conferences*.
6. Arshad, N., Panakkal, E., Kalivarathan, P. B., Tawai, A., Chuetor, S., Wanmolee, W., Kirdponpattara, S., ... et al. (2025). Emerging Technologies in Pretreatment and Hydrolysis for High-Solid-Loading Bioethanol Production from Lignocellulosic Biomass. *Fermentation*.
7. Adewumi, C., Dike, H., Achugasim, O., Efeovbokhane, V. E., Adeleke, A., Oluwasanmi, O., Rasheed, H., ... et al. (2026). Optimization and characterization of bioethanol production from Icacina trichanta Oliv and Anchomanes difformis Blume as non-food starch feedstocks. *International Journal of Renewable Energy Development*.
8. Khazaei, S., & Hejazi, P. (2025). Simultaneous optimization of factors affecting native starch pretreatment and enzymatic hydrolysis using magnetic covalent immobilized α -amylase. *BiotechIntellect*.
9. B, U., & Pa, R. (2025). Production of Starch and Resistant Starch From Barnyard Millet by Enzymatic Method: Comparative Evaluation of Structural and Functional Characteristics. *Starke (Weinheim)*.
10. Sardar, S., Mondal, C., Chakraborty, S., & Saha, S. (2024). Efficacy of alkaline peroxide pretreatment on Eucalyptus grandis as effective lignin removal strategy for production of ethanol using enzymatic hydrolysis. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14, 31513 - 31531.
11. Huang, J., Li, X., Zhao, J., & Qu, Y. (2024). Fed-Batch Strategy Achieves the Production of High Concentration Fermentable Sugar Solution and Cellulosic Ethanol from Pretreated Corn Stover and Corn Cob. *International Journal of Molecular Sciences*, 25.
12. Nogueira, C. C., Araújo Padilha, C. E., Souza Filho, P. F., & Santos, E. S. (2022). Effects of the Addition of Poly(ethylene Glycol) and Non-ionic Surfactants on Pretreatment, Enzymatic Hydrolysis, and Ethanol Fermentation. *Bioenergy Research*, 15, 889 - 904.


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

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。