

耐熱性 α -アミラーゼ酵素：工業用エタノール生産におけるデンプン液化用途

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

耐熱性 α -アミラーゼ酵素は、トウモロコシ、小麦、米、キャッサバなどのデンプン系原料を用いる工業用エタノール生産で、主に高温液化工程に使われる酵素です。デンプン中の α -1,4-グリコシド結合を内部から切断し、粘度の高い糊化デンプンスラリーをデキストリンや短鎖マルトオリゴ糖へ変えることで、後続の糖化・発酵工程に接続しやすくします^[1]。

Enzymes.bioは本酵素を製造する研究所ではなく、B2B向け酵素供給業者として、1kg単位でオンライン直接販売しています。CoAおよびSDSは注文時に併せて提供されます。

工業用エタノール生産で耐熱性 α -アミラーゼが使われる理由

デンプン系エタノール生産では、原料中のデンプンを酵母が利用できる発酵性糖へ変換する必要があります。酵母はデンプン高分子をそのまま効率よくエタノールへ変換するわけではないため、通常は「粉碎・スラリー化」「加熱による糊化」「 α -アミラーゼによる液化」「グルコアミラーゼ等による糖化」「酵母発酵」という段階的な流れが採られます。破碎米やパールミレットなどの穀物原料を用いた従来型エタノール生産でも、デンプンを糖へ変換してから発酵に接続する考え方が基本になります^[2]。

耐熱性 α -アミラーゼが特に重要になるのは、液化工程が高温・高粘度・高固形分に近い条件を伴いやすいからです。デンプン顆粒は加熱により膨潤・糊化し、スラリーの粘度が急上昇します。この状態では攪拌負荷、ポンプ移送、熱伝達、配管内の流動性が工程上の制約になります。 α -アミラーゼはデンプン鎖を内部から切断し、平均分子量を下げることでスラリーを流動化させます。微生物由来 α -アミラーゼは、デンプン加工、食品、発酵、洗剤、繊維など幅広い産業用途で利用されてきた代表的な工業酵素群です^[3]。

「耐熱性」とは、液化工程で必要となる熱履歴の中でも、酵素が失活しにくく、一定の触媒機能を維持しやすい性質を指します。高温域での液化はデンプンの糊化を進める一方で、一般的なタンパク質酵素には変性リスクを与えます。そのため、工業用エタノール向けの α -アミラーゼでは、単に

デンプンを分解できることだけでなく、熱安定性、pH許容性、原料デンプンへの作用性、糖化工程との接続性が重視されます。Bacillus属などの微生物由来 α -アミラーゼは、産業用途に向けた耐熱性酵素として多く研究されています[1]。

作用機序： α -1,4結合を切断して粘度を落とす

デンプンは主にアミロースとアミロペクチンから構成されます。アミロースは主として α -1,4結合で直鎖状につながるグルコースポリマーであり、アミロペクチンは α -1,4結合の主鎖に α -1,6結合の分岐を持つ高分子です。 α -アミラーゼは、デンプン鎖の内部 α -1,4結合をランダムに切断するエンド型加水分解酵素として働きます。このため、反応初期から急速に分子サイズが低下し、スラリー粘度の低下が起こりやすい点が、液化用途での実務的価値です[4]。

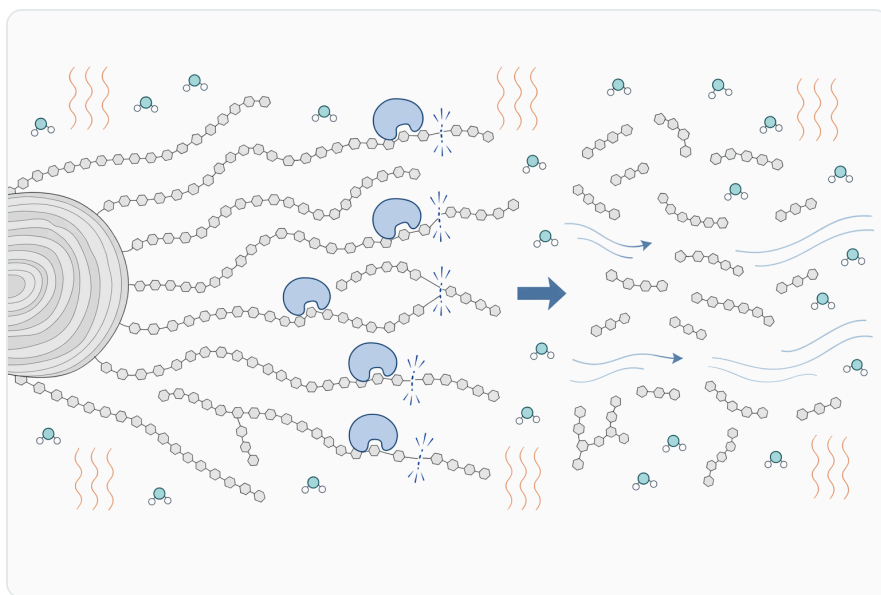


Figure 1. 내열성 알파아밀레이스는 아밀로스와 아밀로펙틴의 내부 α -1,4 글리코시드 결합을 절단하여 전분을 덱스트린과 말토올리고당으로 액화한다.

α -アミラーゼの主な生成物は、デキストリン、マルトース、マルトトリオース、その他のマルトオリゴ糖です。重要なのは、 α -アミラーゼ単独でデンプンを完全にグルコースへ変換することを目的にしているわけではない点です。液化工程では、まず長鎖デンプンを可溶性で低粘度の中間生成物へ変えます。その後、グルコアミラーゼなどの糖化酵素が非還元末端側からグルコースを生成し、酵母発酵へ接続します。 α -アミラーゼとグルコアミラーゼを組み合わせたデンプン加水分解は、固体・半固体原料の糖化研究でも取り上げられており、両酵素の役割分担が示されています[5]。

この機序は、エタノール収率だけでなく、工程操作性にも関わります。液化が不十分な場合、デキストリン化が進まず、糖化酵素がアクセスしにくい高分子画分が残りやすくなります。逆に、液化が適切に進めば、後続糖化で利用しやすい基質分布になり、発酵前の糖供給が安定しやすくなります。

す。酒類発酵における初期段階のデンプン構造変化と糖供給動態に関する研究でも、デンプン分子の変化が糖の供給パターンを左右することが示されています^[6]。

液化・糖化・発酵における役割分担

工業用エタノール生産では、耐熱性 α -アミラーゼは「エタノールを直接作る酵素」ではありません。エタノールを生成する主役は酵母などの発酵微生物であり、 α -アミラーゼは発酵微生物が利用できる糖を得るための前段階を担います。デンプンからエタノールへの変換を考えると、液化で高分子デンプンをデキストリン化し、糖化でグルコースなどの発酵性糖に近づけ、発酵で糖をエタノールと二酸化炭素へ変換するという連続性が重要です^[2]。

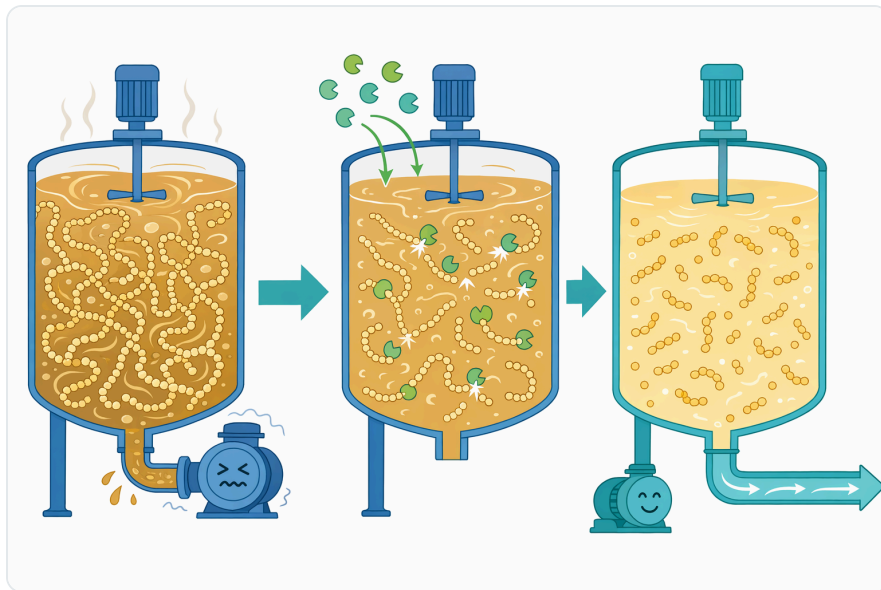


Figure 2. 수화된 긴 전분 사슬을 더 짧은 조각으로 절단하면 매시의 점도가 낮아지고 공정성이 향상된다.

以下の比較表は、デンプン系エタノール工程における主要な生化学的役割を整理したものです。

工程・成分	主な役割	主な対象結合・基質	工程上の意味
耐熱性 α -アミラーゼ	高温液化、粘度低下、デキストリン化	デンプン内部の α -1,4結合	糊化スラリーを流動化し、糖化酵素が作用しやすい中間基質を作る ^[1]
グルコアミラーゼ	糖化、グルコース生成	デキストリン末端側のグリコシド結合	酵母が利用しやすい発酵性糖を増やす ^[5]
プルラーナーゼ等の脱分岐酵素	分岐構造の処理	アミロペクチンの α -1,6結合	分岐デキストリンの残存を減らし、糖化効率を支える ^[7]

工程・成分	主な役割	主な対象結合・基質	工程上の意味
酵母・発酵微生物	糖からエタノールを生成	グルコースなどの発酵性糖	糖化液をエタノールへ変換する ^[2]

この役割分担を誤解すると、 α -アミラーゼに過剰な機能を期待してしまいます。 α -アミラーゼは液化に極めて重要ですが、最終的な糖化度、発酵速度、エタノール濃度は、原料、糖化酵素、発酵微生物、阻害物質、乾物濃度、熱履歴などの組み合わせで決まります。遺伝子導入により α -アミラーゼやプルラナーゼを発現する微生物を用いてデンプン発酵を試みた研究は、デンプン分解酵素と発酵機能を近づける工程統合の可能性を示していますが、一般的な工業工程では酵素液化・糖化と発酵を分けて設計する考え方が依然として重要です^[7]。

耐熱性が液化工程にもたらす実務的価値

高温液化で耐熱性 α -アミラーゼを使用する利点は、単に「熱に強い」ことだけではありません。第一に、デンプンの糊化が進みやすい温度域で酵素反応を同時に進められるため、膨潤したデンプン顆粒を速やかに短鎖化できます。第二に、粘度上昇のピークを抑えやすくなり、攪拌や移送の工程負荷を下げる方向に働きます。第三に、液化が進むことで後続の糖化酵素がアクセスしやすい可溶性デキストリンが増えます。耐熱性を持つ*Bacillus licheniformis*由来 α -アミラーゼのような酵素は、産業用途を想定した熱安定性とデンプン分解能の観点から研究されています^[8]。

耐熱性 α -アミラーゼの構造的安定性には、アミノ酸配列、立体構造、金属イオン結合部位、ドメイン間相互作用、表面電荷、疎水性コアなど複数の要素が関与します。 α -アミラーゼは進化的にも多様な酵素群であり、由来生物によって温度適性やpH適性が異なります。酵素の立体構造や配列特徴を計算科学的に予測し、産業用途に適した性質を理解しようとする研究も進んでいます^[9]。

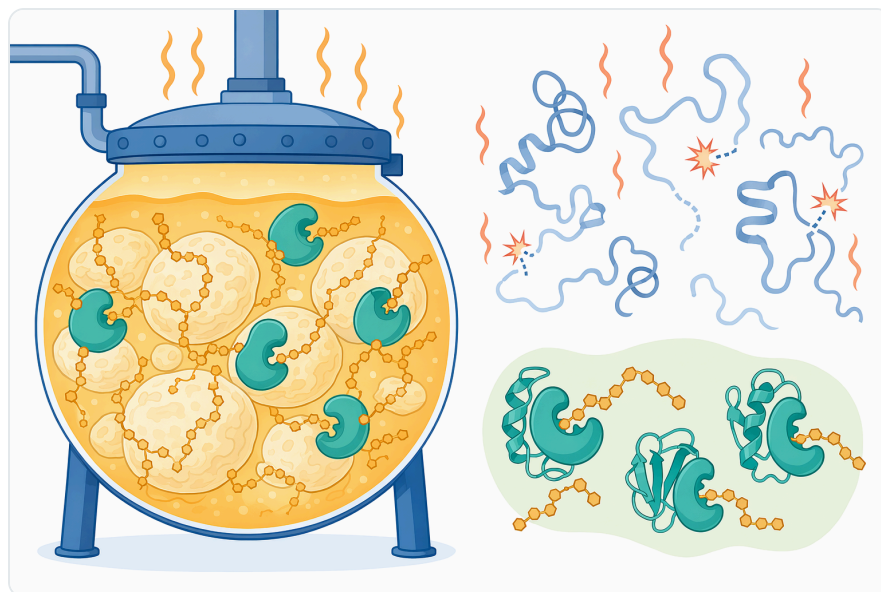


Figure 3. 내열성 덕분에 알파아밀레이스는 젤라틴화된 전분에 가장 잘 접근할 수 있는 고온 전분 액화 과정에서도 촉매 구조를 유지할 수 있다.

ただし、耐熱性が高いことは、あらゆる工程で常に最良であることを意味しません。液化後には糖化や発酵に適した条件へ工程を移行する必要があります。高温液化に適した酵素であっても、糖化工程の酵素や酵母の条件と整合しなければ、全体の効率は限定されます。したがって、耐熱性 α -アミラーゼの価値は、液化単独の反応速度だけでなく、デンプン原料から発酵性糖、さらにエタノールへ至るプロセス全体の流れの中で評価されるべきです^[1]。

原料デンプンの違いが液化に与える影響

工業用エタノールで使われるデンプン質原料は均一ではありません。トウモロコシ、小麦、米、キャッサバ、ソルガム、ミレット、破碎米、食品副産物などでは、デンプン含量、粒径、アミロース比率、タンパク質・脂質・繊維の共存状態が異なります。これらは水和、糊化、酵素アクセス、粘度挙動に影響します。破碎米やパールミレットを用いたエタノール生産研究は、穀物原料の違いが糖化・発酵工程の設計に関係することを示す一例です^[2]。

原料中にタンパク質、脂質、非デンプン多糖、ミネラルが多い場合、デンプン顆粒の膨潤や酵素接触が制限されることがあります。 α -アミラーゼは α -1,4結合を切断する酵素ですが、基質に到達できなければ反応は進みません。そのため、粉碎度、スラリー化、加熱履歴、攪拌状態は、酵素自体の性質と同じくらい液化結果に影響します。農産副産物や食品加工残渣を酵素生産・利用の文脈で扱う研究が増えていることから、原料多様化に対する酵素技術の重要性が高まっていることが分かります^[10]。

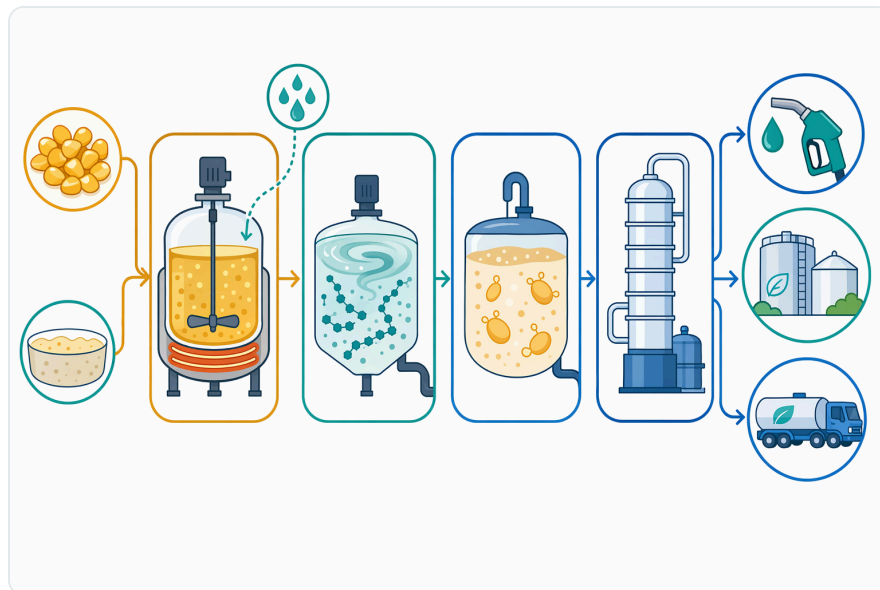


Figure 4. 전분 기반 에탄올 생산은 증자, 알파아밀레이스 액화, 당화, 발효, 에탄올 회수를 각각 별도의 공정 단계로 구분한다.

また、デンプンの分岐構造も糖化効率に影響します。α-アミラーゼは主にα-1,4結合を切断しますが、アミロペクチンのα-1,6分岐点は別の酵素機能を必要とします。デンプン発酵微生物にα-アミラーゼとプルラーナーゼ遺伝子を組み合わせた研究は、α-1,4結合の切断と分岐構造の処理を組み合わせる意義を示しています^[7]。

第一世代エタノールと第二世代エタノールで異なる酵素設計

耐熱性α-アミラーゼは、主にデンプン系原料を用いる第一世代エタノール生産で中心的な役割を担います。一方、コーンストーバー、紙スラッジ、農業残渣などのリグノセルロース系原料を用いる第二世代エタノールでは、セルラーゼ、ヘミセルラーゼ、β-グルコシダーゼ、キシラナーゼなどの酵素群が重要になります。コーンストーバーの同時糖化・共発酵に関する研究では、セルロース系原料の高濃度エタノール生産においてセルラーゼ性能が工程全体を左右することが示されています^[11]。

この違いは、酵素選定の前提を大きく変えます。デンプンはα-グルカンであり、α-アミラーゼが作用するα-1,4結合を多く持ちます。セルロースはβ-1,4結合を持つグルカンであり、α-アミラーゼでは分解できません。したがって、耐熱性α-アミラーゼをリグノセルロース原料の主分解酵素として位置づけるのは適切ではありません。第二世代酵母や複合リグノセルロース分解酵素の研究は、デンプン系とは異なる酵素設計が必要であることを示しています^[12]。

以下の表は、原料別に主要酵素の考え方を比較したものです。



Figure 5. 내열성 알파아밀레이스는 옥수수, 카사바, 수수, 쌀, 사고, 타피오카 잔여물, 음식물 폐기물 등 전분이 풍부한 에탄올 원료와 관련이 있다.

原料タイプ	主な多糖構造	中心となる酵素群	耐熱性 α -アミラーゼの位置づけ
トウモロコシ・米・小麦・キャッサバなどのデンプン系原料	α -1,4結合主体、 α -1,6分岐を含むデンプン	α -アミラーゼ、グルコアミラーゼ、脱分岐酵素	液化工程の主要酵素 ^[1]
コーンストーバー等のリグノセルロース系原料	セルロース、ヘミセルロース、リグニン	セルラーゼ、ヘミセルラーゼ、補助酵素	主酵素ではなく、デンプン混入がある場合の補助的意味に留まる ^[11]
紙スラッジ等のセルロース系廃棄物	セルロース繊維主体	セルラーゼ系	エタノール化の中心はセルロース分解酵素 ^[13]
複合食品副産物	デンプン、タンパク質、脂質、繊維が混在	原料組成に応じた複合酵素	デンプン画分の液化に有効 ^[10]

この比較から分かるように、工業用エタノール生産向けの耐熱性 α -アミラーゼは、特にデンプン系原料の液化に適した酵素です。セルロース系バイオマスの糖化を目的とする場合は、セルラーゼ系酵素が中心となり、 α -アミラーゼの役割は限定的です。紙スラッジのような高固形分セルロース原料を用いたエタノール生産研究でも、焦点はセルロース分解と酵母発酵の統合に置かれています^[13]。

酵素の組み合わせ： α -アミラーゼ単独ではなく工程全体で考える

デンプン系エタノール生産では、 α -アミラーゼ、グルコアミラーゼ、必要に応じて脱分岐酵素を組み合わせることで、液化から糖化までを進めます。 α -アミラーゼが高分子デンプンをランダムに切断して粘度を下げ、グルコアミラーゼがデキストリン末端からグルコースを放出するため、両者は機能的に相補的です。粟原料の酵素加水分解研究でも、 α -アミラーゼとグルコアミラーゼの混合利用がデンプン分解に関わる条件として検討されています^[5]。

脱分岐酵素の役割も見逃せません。アミロペクチン由来の分岐デキストリンが多く残ると、グルコアミラーゼによる完全糖化が遅くなることがあります。プルラーゼなどの脱分岐酵素は α -1,6結合を処理し、糖化酵素が働きやすい鎖状基質を増やします。 α -アミラーゼとプルラーゼ遺伝子を組み合わせたデンプン発酵研究は、デンプンの主鎖切断と分岐処理を同じ変換系に組み込む意味を示しています^[7]。

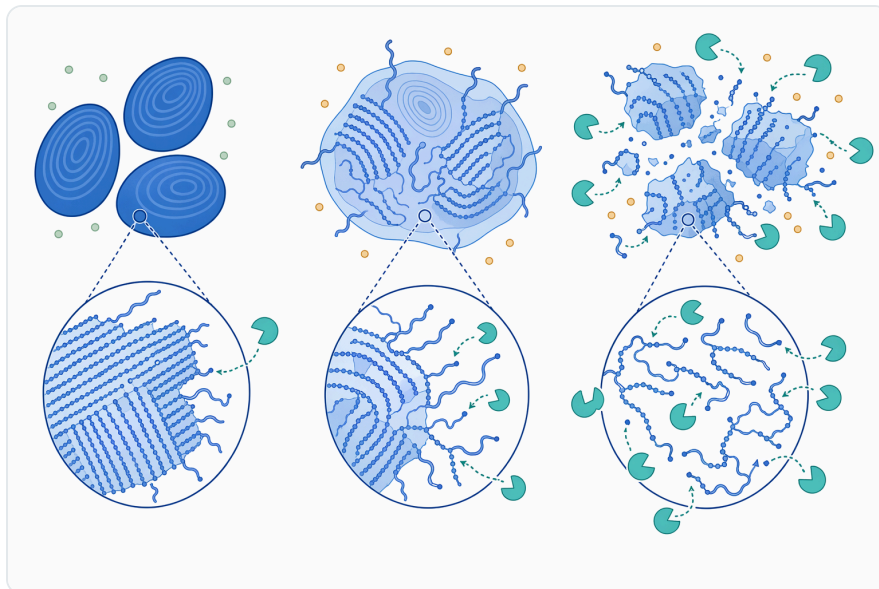


Figure 6. 전분 과립 구조, 젤라틴화, 물리적 파쇄는 알파아밀레이스가 전분의 α -1,4 결합에 얼마나 쉽게 접근할 수 있는지에 영향을 미친다.

固定化酵素や細胞表面提示のような技術も研究されていますが、これらは一般的なバルク酵素使用とは異なる工程設計を必要とします。 α -アミラーゼ固定化に関するレビューでは、固定化によって再利用性や安定性の改善が期待される一方、担体、拡散制限、酵素構造変化、コストなどの課題が整理されています^[14]。この知見は、液状または粉末酵素を通常工程に投入する用途とは区別して理解する必要があります。

品質・安全情報の扱いとEnzymes.bioでの購入形態

Enzymes.bioは、耐熱性 α -アミラーゼ酵素を1kg単位でオンライン直接販売する酵素供給業者です。製造業者または研究機関として酵素を開発・製造しているという位置づけではなく、工業用途の購入者が必要な酵素をオンラインで調達できる供給チャネルとして機能します。CoAおよびSDSは注文時に併せて提供されるため、購入者は受領時に製品情報と安全情報を確認できます。

本ページでは、具体的な活性単位、分析法、活性単位の定義、グレード表現を記載していません。工業酵素では、活性表示や測定条件が製品ごとに異なり、温度、pH、基質、反応時間、検出方法によって解釈が変わるためです。ここでは、デンプン液化工程における酵素の役割、作用機序、関連研究に基づく応用上の意味に焦点を当てています。 α -アミラーゼの産業応用に関するレビューでも、由来微生物や生産条件によって性質が多様であることが整理されています^[1]。

オンライン購入を前提とする場合、製品の理解で最も重要なのは、「この酵素が何をするのか」を工程内で明確に位置づけることです。耐熱性 α -アミラーゼは、デンプン系原料を液化し、粘度を下げ、糖化工程へ渡すデキストリンを形成する酵素です。発酵性糖の最終生成やエタノール生成そのものは、グルコアミラーゼや酵母など後続要素との組み合わせに依存します。微生物 α -アミラーゼの多様な産業利用は長く研究されており、工業用途での実用性を支える基盤となっています^[3]。



Figure 7. 전분 기반 에탄올은 아밀라아제에 의한 액화와 당화에 의존하는 반면, 리그노셀룰로오스 기반 에탄올은 전처리와 셀룰라아제 또는 헤미셀룰라아제 시스템이 필요하다.

科学的根拠の強さと解釈の範囲

強い根拠があるのは、 α -アミラーゼがデンプン中の α -1,4結合を加水分解すること、微生物由来 α -アミラーゼが産業的に重要であること、デンプン系エタノール生産では液化と糖化が発酵前処理として必要になることです。これらは複数のレビューおよびデンプン原料を用いた発酵研究で支持されています^[1]。

中程度の根拠としては、特定由来の耐熱性 α -アミラーゼが高温液化に有利であること、特定条件下で原料デンプンに作用しやすいこと、固定化や酵素組み合わせにより工程上の利点が得られる可能性があることが挙げられます。Bacillus licheniformis由来耐熱性 α -アミラーゼの工業応用研究や、 α -アミラーゼ固定化に関するレビューは、こうした応用可能性を支える知見です^[8]。

一方で、個別論文で示された最適条件や性能を、すべての工場、すべての原料、すべての市販酵素へそのまま一般化することはできません。デンプン液化は、原料粒度、乾物濃度、加熱履歴、攪拌、pH、糖化酵素、発酵微生物との整合で結果が変わります。したがって、耐熱性 α -アミラーゼの価値は、単一の性能値ではなく、工業用エタノール生産の液化・糖化・発酵をつなぐ工程適合性として理解するのが適切です^[9]。

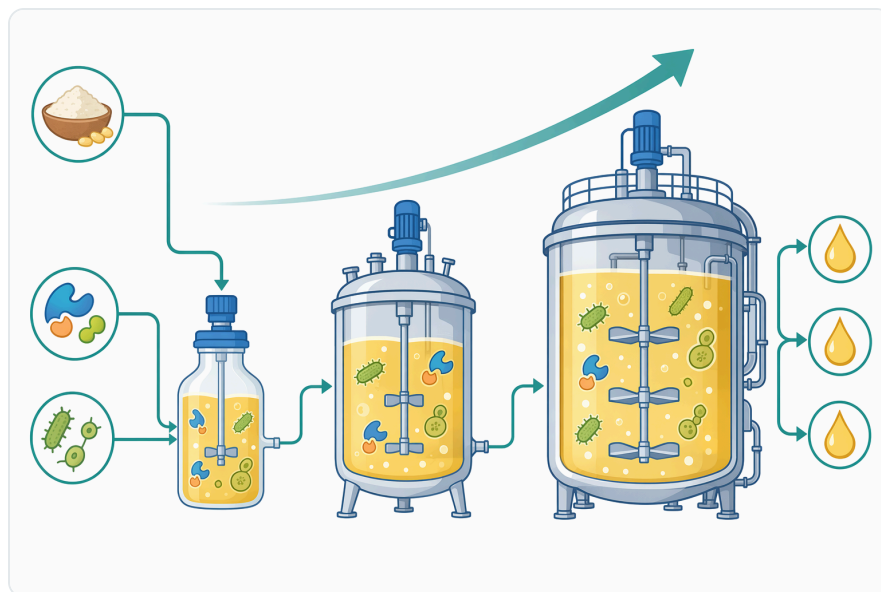


Figure 8. 발표된 전분-에탄올 전환 연구에는 실험실 규모부터 파일럿 및 산업 발효조 규모까지 평가된 동시 가수분해 및 발효 공정이 포함된다.

まとめ：デンプン液化を支える高温対応酵素

耐熱性 α -アミラーゼ酵素は、工業用エタノール生産において、デンプン系原料の液化を担う中心的な酵素です。加熱で糊化した高粘度デンプンスラリーに作用し、 α -1,4結合を内部から切断してデキストリンや短鎖糖へ変換します。これにより、攪拌・移送・熱交換の負荷を下げ、後続の糖化酵素

が働きやすい基質を形成します^[1]。

この酵素の実務的価値は、エタノールを直接生成することではなく、酵母発酵に必要な糖供給を支える前処理段階を安定させることにあります。破碎米やミレットなどのデンプン原料を用いたエタノール生産研究、 α -アミラーゼとグルコアミラーゼの組み合わせによる加水分解研究、プルラナーゼとの組み合わせを含むデンプン発酵研究はいずれも、デンプン分解酵素が発酵工程の前提を作ることを示しています^[2]。

Enzymes.bioでは、Thermostable Alpha Amylase Enzyme For Industrial Ethanol Productionを1kg単位でオンライン直接購入できます。注文時にはCoAおよびSDSが併せて提供されます。デンプン系エタノール生産で高温液化、粘度低下、糖化工程への接続を重視する場合、本酵素は工程上の中核となる α -アミラーゼとして位置づけられます。

Thermostable Alpha Amylase Enzyme For Industrial Ethanol 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 Enzyme For Industrial Ethanol 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. Farooq, M. A., Ali, S., Hassan, A., Tahir, H. M., Mumtaz, S., & Mumtaz, S. (2021). [Biosynthesis and industrial applications of \$\alpha\$ -amylase: a review](#). *Archives of Microbiology*, 203, 1281 - 1292.
2. Gohel, V., & Duan, G. (2012). [Conventional process for ethanol production from Indian broken rice and pearl millet](#). *Bioprocess and biosystems engineering (Print)*, 35, 1297-1308.
3. Nampoothiri, K., Soccol, C. R., Swetha, S., Pandey, A., & Dhanya, G. (2006). [Alpha-amylases from microbial sources - An overview on recent developments](#).
4. Kaur, N., Kumar, V., Nayak, S., Wadhwa, P., Kaur, P., & Sahu, S. (2021). [Alpha - amylase as molecular target for treatment of diabetes mellitus: A comprehensive review](#). *Chemical Biology and Drug Design*, 98, 539 - 560.

5. López, C., Torrado, A., Guerra, N. P., & Pastrana, L. (2005). Optimization of solid-state enzymatic hydrolysis of chestnut using mixtures of alpha-amylase and glucoamylase. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53 4, 989-95 .
6. Zhang, B., Yang, Y., Ni, D., Xu, Y., Zhuang, C., Kong, X., & Yang, F. (2026). Molecular evolution of starch structure and sugar supply dynamics during the initial fermentation stages of Jiangxiangxing Baijiu. *Food chemistry: X*, 36.
7. Santos, V. L., Araújo, E. F., Barros, E. G. D., & Guimaraes, W. V. (1999). Fermentation of starch by *Klebsiella oxytoca* p2, containing plasmids with alpha-amylase and pullulanase genes. *Biotechnology and Bioengineering*, 65 6, 673-6 .
8. Kholikov, A., Vokhidov, K., Murtozoyev, A., Tóth, Z. S., Nagy, G., Vértessy, B. G., & Makhsumkhanov, A. A. (2025). Characterization of a Thermostable α -Amylase from *Bacillus licheniformis* 104.K for Industrial Applications. *Microorganisms*, 13.
9. Shad, M., Hussain, N., Usman, M., Akhtar, M., & Sajjad, M. (2023). Exploration of computational approaches to predict the structural features and recent trends in α - amylase production for industrial applications. *Biotechnology and Bioengineering*, 120, 2092 - 2116.
10. Naik, B., Kumar, V. S., Rizwanuddin, S., Chauhan, M., Gupta, A., Rustagi, S., Kumar, V., ... et al. (2023). Agro-industrial waste: a cost-effective and eco-friendly substrate to produce amylase. *Food Production, Processing and Nutrition*, 5, 1-12.
11. Zhang, Q., & Bao, J. (2017). Industrial cellulase performance in the simultaneous saccharification and co-fermentation (SSCF) of corn stover for high-titer ethanol production. *Bioresources and Bioprocessing*, 4, 1-7.
12. Claes, A., Deparis, Q., Foulquié-Moreno, M. R., & Thevelein, J. (2020). Simultaneous secretion of seven lignocellulolytic enzymes by an industrial second-generation yeast strain enables efficient ethanol production from multiple polymeric substrates. *Metabolic Engineering*.
13. Dyk, J., Görgens, J., & Rensburg, E. (2023). Enhanced ethanol production from paper sludge waste under high-solids conditions with industrial and cellulase-producing strains of *Saccharomyces cerevisiae*. *Bioresource Technology*, 130163 .
14. Mafakher, L., Ahmadi, Y., Fard, J. K., Yazdansetad, S., Gomari, S. R., & Far, B. E. (2022). Alpha-amylase immobilization; methods and challenges. *Pharmaceutical Sciences*.


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。