

耐熱性 α -アミラーゼ Thermostable Alpha Amylase : 高収率発酵向けでんぷん液化酵素

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

Thermostable Alpha Amylase は、でんぷん質原料を高温工程で液化し、発酵微生物が利用しやすい糖質基質へつなげるための耐熱性 α -アミラーゼです。 α -アミラーゼはでんぷん内部の α -1,4-グリコシド結合を切断して高分子でんぷんをデキストリンや短鎖糖へ変換し、粘度低下、混合性改善、糖化前処理、発酵収率の安定化を支援します^[1]。Enzymes.bio は本製品の供給業者であり、製品はオンラインで1 kg単位から直接購入でき、CoAとSDSは注文時に併せて提供されます。

高収率発酵で耐熱性 α -アミラーゼが担う役割

でんぷんを含む発酵原料では、微生物がそのまま高分子でんぷんを効率よく利用できるとは限りません。トウモロコシ、小麦、米、キャッサバ、ジャガイモ、穀類副産物などのでんぷん質原料は、加熱によって糊化すると酵素がアクセスしやすくなる一方、スラリー粘度が急上昇し、攪拌、熱移動、ポンプ移送、均一な反応制御を難しくします。耐熱性 α -アミラーゼは、この高温・高粘度の段階ででんぷん鎖を内部から切断し、液化を進めることで、後続の糖化や発酵に入りやすい基質状態を作ります^[2]。

「高収率発酵向け」という表現は、特定の発酵収率を一律に保証する意味ではなく、でんぷん液化、粘度低下、糖供給の均一化、残存でんぷんの低減を通じて、発酵プロセスが本来の収率に近づきやすい状態を作るという意味です。実際の収率は、原料の種類、粉碎度、固形分濃度、温度履歴、pH、併用する糖化酵素、発酵微生物、滞留時間、攪拌効率、汚染管理によって変わります。 α -アミラーゼを「発酵そのものを行う酵素」ではなく、「発酵に入る前の炭水化物基質を整える酵素」と理解することが、技術的には正確です^[3]。

Enzymes.bio が供給する Thermostable Alpha Amylase For High Yield Fermentation は、でんぷん液化、糖化前処理、発酵用糖液の調製を想定した耐熱性 α -アミラーゼ製品です。Enzymes.bio は製造業者または研究機関ではなく、B2B向け酵素供給業者として、オンライン製品ページから1 kg単位で購入できる形態を提供しています。製品に関連するCoAおよびSDSは、注文時に併せて提供されます。

作用機序：でんぷんの内部切断が粘度と糖化性を変える

でんぷんは、グルコース単位が連なった高分子で、主に直鎖状のアミロースと、分岐構造を持つアミロペクチンから構成されます。 α -アミラーゼは、このうち主鎖の内部 α -1,4-グリコシド結合を加水分解するエンド型酵素です。末端から順番に糖を外すのではなく、長い鎖の内部を複数箇所切断するため、反応の初期段階から分子量が急速に低下し、スラリーの粘度低下が観察されやすい点が実務上重要です^[1]。

この内部切断により、糊化でんぷんは長鎖多糖から、可溶性デキストリン、マルトオリゴ糖、マルトースを含む短鎖画分へ移行します。 α -アミラーゼ単独では、すべての糖をグルコースまで完全に分解する設計ではない場合が多く、発酵工程ではグルコアミラーゼ、プルラナーゼ、 α -グルコシダーゼなどの糖化酵素と組み合わせて糖組成を調整することがあります。でんぷんからイソマルトオリゴ糖を生成するような別種の耐熱性糖質関連酵素の研究もあり、熱安定な酵素群を使ってでんぷん由来糖質を目的に応じて変換する考え方は広く検討されています^[4]。

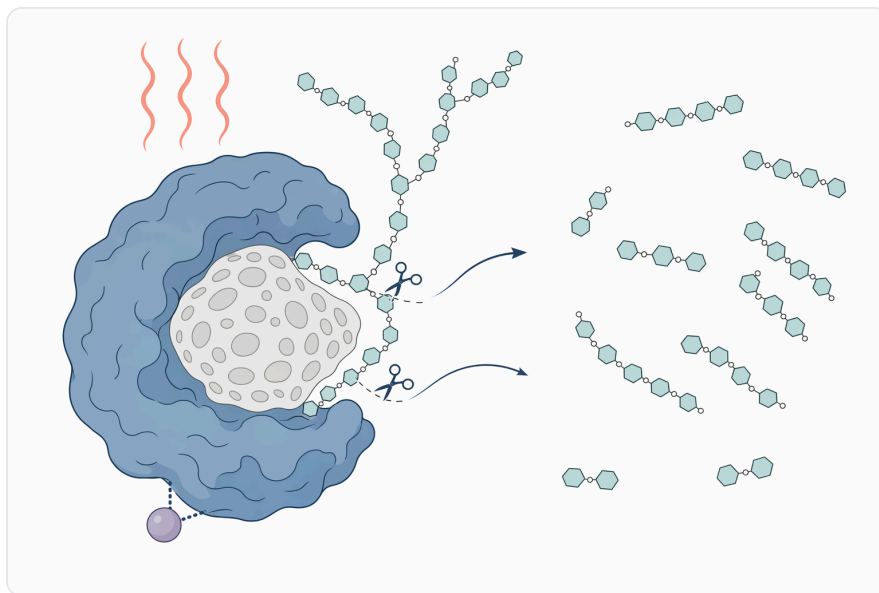


Figure 1. 내열성 알파-아밀레이스는 발효 전 단계에서 전분의 내부 α -1,4 결합을 절단해 더 짧은 덱스트린을 형성합니다.

耐熱性 α -アミラーゼの価値は、単に「高温でも壊れにくい」ことだけではありません。でんぷんは加熱によって結晶構造が緩み、水和して酵素がアクセスしやすくなりますが、その温度域では一般的なタンパク質酵素が失活しやすくなります。耐熱性タイプは、糊化と液化が重なる高温工程で機能を維持しやすいため、原料がまだ高温で流動性を失いやすい段階に直接作用できます。低pH・高温の液化に適した α -アミラーゼ探索と最適化が研究されてきた背景も、でんぷん加工工程の熱的・化学的負荷に酵素を適合させるためです^[5]。

通常のでんぷん処理との比較

以下の表は、でんぷん質原料を発酵に回す前処理として見た場合の、未処理、一般的な非耐熱性酵素処理、耐熱性 α -アミラーゼ処理の違いを整理したものです。実際の工程では原料、設備、併用酵素によって条件が変わるため、表は工程設計の考え方を示す比較です。

比較項目	未処理または不十分な液化	非耐熱性 α -アミラーゼ中心の処理	耐熱性 α -アミラーゼによる液化
高温糊化後の粘度	高くなりやすく、攪拌・移送が難しい	酵素の温度適合外では反応が制限される	高温域ででんぷん鎖を切断し、粘度低下を進めやすい
でんぷん鎖の状態	長鎖高分子が多く残りやすい	温度を下げてから反応させる必要が出やすい	糊化直後または高温保持中に短鎖化を進めやすい
糖化工程への接続	糖化酵素の基質アクセスが不均一になりやすい	冷却時間や粘度管理が制約になりやすい	可溶性デキストリン化により後続糖化へ接続しやすい
発酵への影響	残存でんぷん、局所高粘度、糖供給不足の原因になり得る	工程温度との不一致が処理時間に影響し得る	発酵用基質の均一化と利用性改善に寄与し得る
主な用途適性	低固形分または発酵微生物が直接分解できる原料に限定	低温側の処理工程	高固形分ででんぷん液化、発酵用糖液調製、バイオ発酵前処理

耐熱性 α -アミラーゼは、高温押出や加熱加工中のでんぷんデキストリン化にも応用されており、熱とせん断が加わる工程ででんぷんの分子量と機能性を変える手段として研究されています。大麦粉を対象にした押出調理研究では、耐熱性 α -アミラーゼを用いたでんぷんデキストリン化が検討されており、高温処理中に酵素反応を組み込む発想の妥当性を示しています^[2]。

Bacillus 系および耐熱性アミラーゼ研究から見た信頼性

産業用 α -アミラーゼでは、Bacillus 属由来酵素が長く注目されてきました。Bacillus licheniformis、Bacillus subtilis、Bacillus amyloliquefaciens、Bacillus megateriumなどは、耐熱性 α -アミラーゼの生産、性質解析、原料分解性、発酵生産最適化に関する研究例が多く、でんぷん加工やバイオプロセスへの応用可能性が検討されています^[6]。

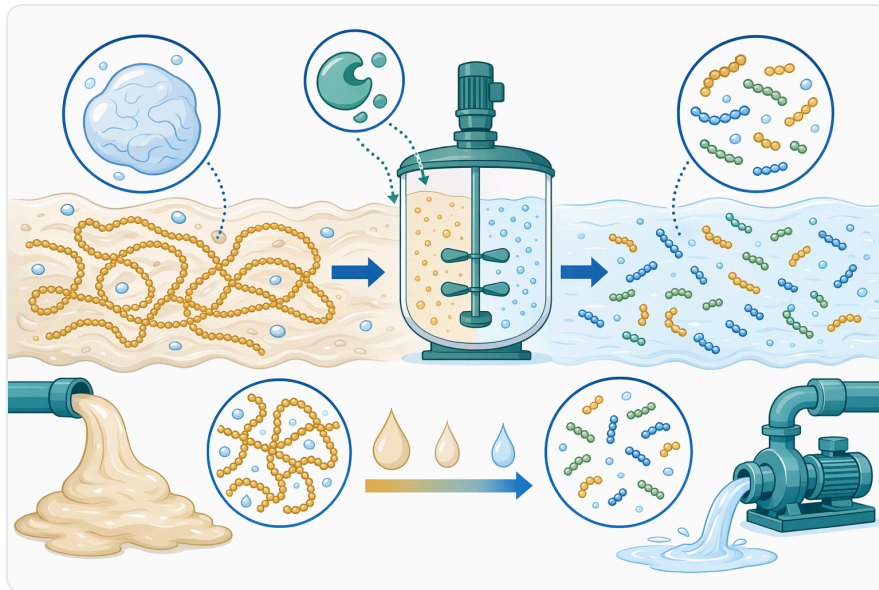


Figure 2. 젤라틴화된 긴 전분 사슬을 더 짧은 조각으로 자르면 매시의 높은 점도를 유발하는 얽힌 고분자 네트워크가 줄어듭니다.

Bacillus licheniformis 由来の耐熱性 α -アミラーゼでは、粗でんぷんの加水分解能や熱安定性に関する研究が報告されています。Fincanらの研究では、*Bacillus licheniformis* So-B3 が産生する耐熱性 α -アミラーゼの精製・性質解析と、粗でんぷん加水分解への可能性が扱われています。粗でんぷん分解性は、完全に糊化した精製でんぷんだけでなく、実際の農産原料や粒状でんぷんを含む基質に対して酵素がどこまで機能するかを考える上で重要な観点です^[7]。

酸性側の条件に安定な α -アミラーゼも、発酵用途では関心が高い領域です。発酵前処理や同時糖化発酵では、発酵微生物に合わせて中性より低いpHで工程を進めたい場合があります。*Bacillus licheniformis* B4-423 由来の耐熱性・酸安定性 α -アミラーゼの精製および生化学的性質解析は、熱安定性だけでなくpH安定性も工業適性を左右することを示しています^[8]。

Bacillus amyloliquefaciens を用いた研究では、農業残渣混合物を基質にした耐熱性 α -アミラーゼ生産の最適化が報告されています。これは、酵素そのものの性質だけでなく、農産副産物やでんぷん質バイオマスを産業酵素生産・利用の文脈で扱う研究が進んでいることを示します。発酵用原料も多くの場合、農産物またはその副産物であるため、でんぷん質原料と耐熱性アミラーゼの組み合わせは技術的に自然な接点を持ちます^[9]。

高温安定性を支える構造的な考え方

耐熱性酵素では、タンパク質の折りたたみ構造、疎水性相互作用、イオン結合、金属イオン結合、ループ領域の剛直性、サブユニット間相互作用などが安定性に関与します。 α -アミラーゼは一般に立体構造中に触媒部位を持ち、基質であるでんぷん鎖を結合ポケットに取り込み、水分子を使って

グリコシド結合を切断します。高温下でも触媒部位の形が保たれるほど、液化工程で反応を継続しやすくなります^[1]。

極限環境由来または高耐熱性の α -アミラーゼ研究は、工業用酵素の安定化設計にも知見を与えています。Pyrococcus furiosus由来の高耐熱性 α -アミラーゼは、植物内で機能的凝集体として蓄積する研究が報告されており、極めて高い熱安定性を持つ酵素がどのように機能性を保つかという観点で注目されます。発酵用でんぷん液化に直接同一条件で適用するという意味ではありませんが、耐熱性 α -アミラーゼという酵素群の構造安定性を理解する上で有用な研究例です^[10]。

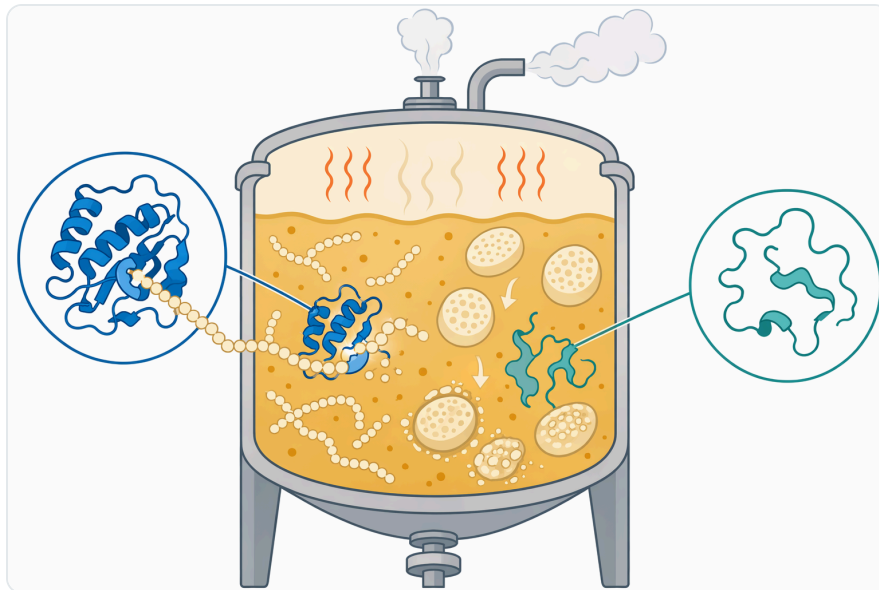


Figure 3. 내열성 알파-아밀레이스는 고온 전분 처리 조건에서도 유용한 접힌 구조를 더 오래 유지합니다.

温泉などの高温環境から耐熱性 α -アミラーゼ遺伝子を探索するメタゲノム研究も進んでいます。Chauhanらは地熱泉を対象に耐熱性 α -アミラーゼ遺伝子を探索しており、培養可能な微生物だけでなく、環境DNAから産業酵素候補を見つけるアプローチが広がっていることを示しています。高温液化工程に適した酵素は、自然界の高温環境や熱適応微生物から見つかることが多く、耐熱性 α -アミラーゼ開発の基盤になっています^[11]。

発酵収率に効くのは「糖量」だけではない

発酵収率を高めるには、単に最終的な糖量を増やすだけでなく、糖の供給速度、糖組成、粘度、浸透圧、発酵阻害物質、微生物の増殖速度、酸素要求性、攪拌効率を揃える必要があります。 α -アミラーゼによる液化が不十分な場合、未分解でんぷんが残り、糖化酵素のアクセスが限定され、局所的に粘度の高い部分が残ります。これにより、発酵槽内で基質濃度や温度が不均一になり、発酵の再現性が落ちることがあります^[3]。

でんぷんからエタノール、水素、コハク酸などへ変換するバイオプロセスでは、でんぷんをどのように可溶化し、発酵微生物が利用できる形にするかが重要です。Bacillus megaterium 由来 α -アミラーゼを大腸菌表層に提示し、でんぷんを水素、エタノール、コハク酸へ生物変換する研究は、でんぷん分解と発酵代謝を結びつける設計思想を示しています。これは本製品の製造情報ではありませんが、 α -アミラーゼが発酵収率設計の入口に位置することを理解する上で参考になります^[3]。

高固形分発酵では、粘度低下の効果が特に大きくなります。固形分が高いほど単位体積あたりの潜在的な糖量は増えますが、その分、攪拌抵抗、熱移動の遅れ、局所的な濃度差、ポンプ負荷が増えます。耐熱性 α -アミラーゼで早期にでんぷん鎖を短くできれば、同じ原料濃度でも流動性を確保しやすくなり、後続の糖化酵素や微生物が均一な基質に接触しやすくなります。耐熱性 α -アミラーゼが食品、発酵、バイオ燃料などの産業で重視される理由は、この「反応性」と「工程操作性」の両方に関与するためです^[1]。

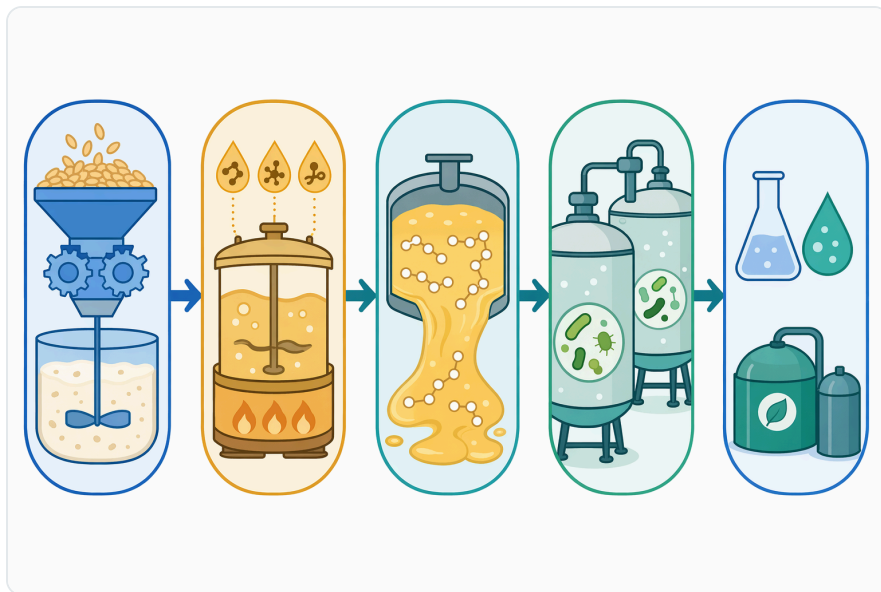


Figure 4. 전분 기반 발효에서는 일반적으로 알파-아밀레이스에 의한 액화 단계를 보온 효소와 미생물 발효에 의한 당화 단계와 분리합니다.

工程別に見た使われ方

でんぷん質原料の加熱・糊化段階

でんぷん粒は未加熱状態では結晶性を持ち、酵素が内部へ入りにくい場合があります。加熱によりでんぷん粒が膨潤・糊化すると、水を取り込み、酵素が α -1,4 結合へアクセスしやすくなります。しかし同時に粘度が上がるため、熱交換器、攪拌機、配管に負荷がかかります。耐熱性 α -アミラーゼは、この糊化で粘度が上がる局面で液化を進め、スラリーを扱いやすくする目的で使われます^[2]。

液化段階

液化段階では、 α -アミラーゼがでんぷん鎖をランダムに切断し、長鎖高分子を短鎖デキストリンへ変換します。ここで重要なのは、完全糖化ではなく、粘度低下と可溶化を優先することです。液化が進むと、攪拌しやすくなり、槽内の温度分布が安定し、後続の糖化酵素が均一に働きやすくなります。低pHで機能する耐熱性 α -アミラーゼの開発研究も、液化から糖化・発酵へ工程を滑らかにつなげる目的と関連しています^[5]。

糖化段階への接続

液化後のデキストリンは、そのまま発酵微生物が利用できる場合もありますが、エタノール発酵や有機酸発酵ではグルコース、マルトース、マルトトリオースなど、微生物が取り込みやすい糖へさらに分解することが多くあります。ここでは糖化酵素が重要になり、 α -アミラーゼはその前段階として、基質を短鎖化して糖化効率を支える役割を果たします。でんぷんの生物変換を多段階酵素反応として捉える研究は、発酵用糖液設計の基礎になります^[4]。

発酵段階

発酵段階では、液化・糖化で得られた糖が微生物の代謝に入り、エタノール、有機酸、アミノ酸、酵素、バイオガス、その他の発酵産物へ変換されます。 α -アミラーゼの直接の役割は発酵代謝ではなく、微生物に渡す炭素源の状態を整えることです。表層提示 α -アミラーゼを用いたでんぷんから発酵産物への変換研究は、でんぷん分解能を微生物変換と一体化させることで、基質利用性を改善しようとする方向性を示しています^[3]。

用途別の技術的適合性

用途分野	でんぷん基質の課題	耐熱性 α -アミラーゼの主な価値	注意すべき点
燃料エタノール	高固形分スラリー、粘度、未分解でんぷん	液化、糖化前処理、発酵用糖供給の安定化	収率は糖化酵素、酵母、発酵条件にも依存
醸造・蒸留	穀物・米・芋類のでんぷん可溶化	蒸煮後の粘度低下、糖化工程への接続	風味、糖組成、発酵速度のバランスが必要
有機酸・バイオ化学品発酵	原料コストと糖供給の安定性	でんぷん系原料を発酵炭素源に変換	微生物が利用できる糖形態に合わせる必要
食品・糖液調製	均一なデキストリン化、加工適性	加熱工程中の液化、粘度制御	最終製品の甘味、粘度、表示要件に注意

用途分野	でんぷん基質の課題	耐熱性 α -アミラーゼの主な価値	注意すべき点
繊維・でんぷん除去	糊剤でんぷんの除去	α -1,4結合切断による糊抜き支援	主用途が発酵でない場合は工程適合性が別途重要

発酵用途以外でも、 α -アミラーゼはでんぷん除去や加工粘度制御に使われています。たとえば繊維糊抜きでは、でんぷん系糊剤を分解して洗浄除去しやすくする目的で α -アミラーゼが利用されます。耐熱性 α -アミラーゼの産業応用が、食品、でんぷん加工、発酵、繊維、洗剤、紙、バイオ燃料へ広がっていることは、酵素の基本反応が多くの工程課題に共通しているためです^[1]。

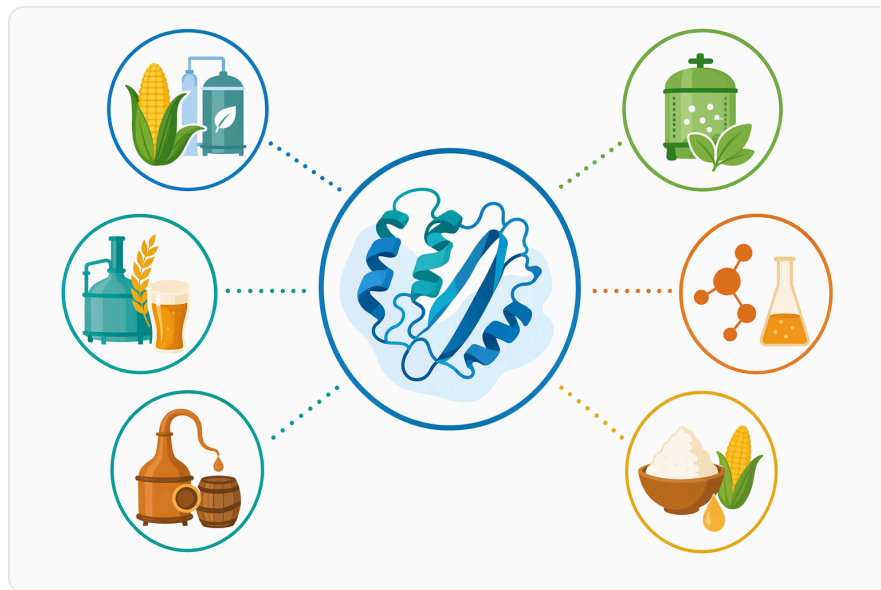


Figure 5. 내열성 알파-아밀레이스는 옥수수, 밀, 카사바, 쌀, 보리, 감자, 고구마 및 전분질 잔여물과 같은 전분이 풍부한 원료에 적합합니다.

原料の違いが液化結果に与える影響

トウモロコシ、小麦、米、キャッサバ、ジャガイモなどは、いずれもでんぷん質原料ですが、でんぷん粒径、アミロース含量、タンパク質・脂質・繊維の共存、糊化挙動が異なります。粗でんぷんの加水分解性を扱う研究が重要なのは、精製でんぷんで良好に働く酵素が、実際の原料マトリックス中で同じように働くとは限らないためです。Bacillus licheniformis So-B3 由来耐熱性 α -アミラーゼの粗でんぷん加水分解可能性は、原料状態と酵素アクセス性を結びつける研究例です^[7]。

また、原料に含まれるタンパク質、脂質、繊維、ミネラルは、粘度や酵素反応の見かけ速度に影響します。穀物粉のような複合原料では、でんぷんだけでなく、細胞壁成分やタンパク質ネットワークが水和・加熱挙動に関与します。大麦粉を対象とした耐熱性 α -アミラーゼによる押出中デキスト

リン化研究は、精製でんぷんではなく食品原料マトリックス内で酵素を使う際の複雑さを示しています[2]。

高収率発酵を目指す場合、原料選択と粉碎、加水、加熱、液化、糖化、発酵を一連の炭素利用プロセスとして設計する必要があります。α-アミラーゼはその中で、でんぷんを流動性のある糖質中間体へ変える入口の酵素です。原料に適した液化ができていないと、どれほど発酵微生物の性能が高くても、利用可能な糖が不足したり、反応槽内で不均一な基質分布が生じたりします[3]。

耐熱性とpH安定性をどう理解するか

耐熱性α-アミラーゼは、高温の液化工程に適合しやすい酵素ですが、すべての耐熱性酵素が同じpH範囲、同じ原料、同じ工程時間で最適に働くわけではありません。Bacillus subtilis 由来耐熱性α-アミラーゼの固体発酵条件最適化と性質解析、Bacillus megaterium 由来耐熱性α-アミラーゼのスクリーニング・性質解析など、複数の研究が示すように、酵素の由来が異なれば安定性、基質親和性、温度応答、pH応答も変わります[6]。

酸性条件への安定性は、糖化や発酵との接続を考える上で特に重要です。多くの発酵微生物は中性よりやや低いpHで運転されることがあり、液化後に大きくpHを調整するほど、工程負荷や副反応の管理が増えます。Bacillus licheniformis B4-423 由来の耐熱性・酸安定性α-アミラーゼ研究は、熱だけでなく酸性側の安定性も工業酵素の価値を左右することを示しています[8]。

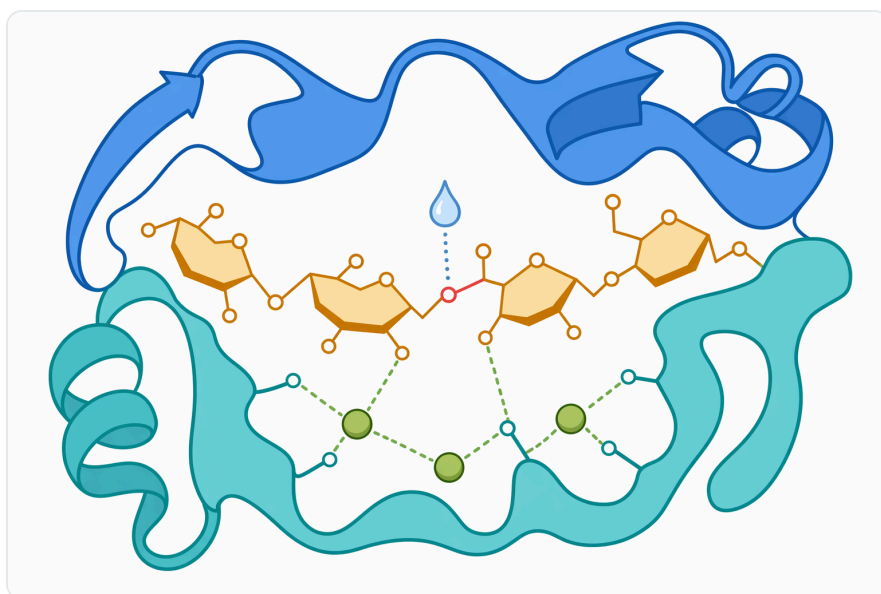


Figure 6. 칼슘과 같은 금속 이온은 기질 인식과 촉매 작용을 지원하는 알파-아밀레이스의 결합 부위를 안정화하는 데 도움이 될 수 있습니다.

一方で、耐熱性が高いほど常に発酵収率が高い、という単純な関係ではありません。高温でんぷん液化に適した酵素であっても、発酵微生物が使う温度帯では別の糖化酵素や微生物代謝が支配的になる場合があります。したがって、耐熱性 α -アミラーゼは「液化段階での工程安定性を高める酵素」と位置づけ、後続の糖化・発酵との組み合わせで全体収率を評価するのが合理的です^[1]。

安全な取り扱いと文書提供

酵素製品はタンパク質であり、粉じんやエアロゾルとして吸入されると感作リスクが問題になる場合があります。産業酵素の安全な取り扱いでは、容器開封時の飛散抑制、局所排気、適切な保護具、こぼれた場合の湿式清掃など、作業者が酵素粒子を吸入しにくい管理が重視されます。これは耐熱性 α -アミラーゼに限らず、酵素製品全般で共通する基本的な考え方です^[12]。

Enzymes.bio では、Thermostable Alpha Amylase For High Yield Fermentation の注文時に、製品関連文書としてCoAとSDSが併せて提供されます。CoAは注文品に関連する品質文書、SDSは取り扱い・保管・安全管理に関する文書として位置づけられます。Enzymes.bio は供給業者であり、製造業者または研究所として独自の製造条件や試験法を提示する立場ではありません。

Enzymes.bioでの購入形態

Thermostable Alpha Amylase For High Yield Fermentation は、Enzymes.bio のオンライン製品ページから1 kg単位で直接購入できます。オンライン決済後に注文処理と配送が進み、CoAおよびSDSは注文時に併せて提供されます。製品ページは、発酵用でんぷん液化、糖化前処理、高固形分スラリー処理、バイオ発酵原料調製を検討するB2Bユーザー向けの購入窓口として設計されています。

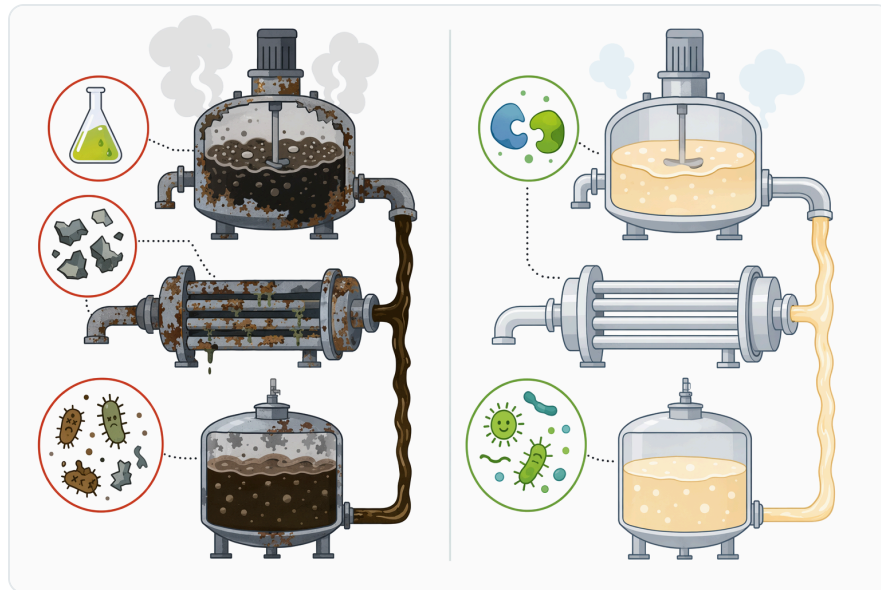


Figure 7. 알파-아밀레이스는 주로 전분을 액화하는 반면, 글루코아밀레이스, 가지 제거 효소, 베타-아밀레이스는 이후 단계에서 서로 다른 탄수화물 전환 역할을 수행합니다.

本製品を理解するうえで最も重要なのは、「発酵収率を直接保証する添加剤」ではなく、「でんぷん質原料を発酵しやすい基質状態へ変える耐熱性液化酵素」と捉えることです。α-アミラーゼの内部切断によって粘度が下がり、デキストリン化が進み、糖化酵素や発酵微生物がアクセスしやすい状態が作られます。この基質調整こそが、高収率発酵を支える前処理上の価値です^[1]。

まとめ：高温液化から発酵基質設計までを支える酵素

Thermostable Alpha Amylase は、でんぷん質原料を用いる発酵工程で、糊化後の高粘度スラリーを液化し、後続の糖化と発酵へつなげるための耐熱性α-アミラーゼです。作用の中心は、でんぷん内部のα-1,4-グリコシド結合を切断し、長鎖でんぷんをデキストリンや短鎖糖質へ変換することにあります。この反応により、粘度低下、混合性改善、熱移動の安定化、糖化前処理、発酵用基質の均一化が期待できます^[1]。

Bacillus licheniformis、Bacillus subtilis、Bacillus amyloliquefaciens、Bacillus megaterium、Streptomycesなどに由来する耐熱性α-アミラーゼの研究は、熱安定性、酸安定性、粗でんぷん分解性、農業副産物利用、高温液化への適性を多面的に示しています。これらの研究は、耐熱性α-アミラーゼがでんぷん加工と発酵前処理に適した酵素群であることを支える科学的背景です^[7]。

ただし、最終的な発酵収率は酵素だけで決まるものではありません。原料、固形分、温度、pH、糖化設計、微生物、攪拌、滞留時間、汚染管理が組み合わさって結果が決まります。そのため、本製品は「高収率を支援するでんぷん液化酵素」として、発酵プロセス全体の中で位置づけるのが適切

です。Enzymes.bio では、Thermostable Alpha Amylase For High Yield Fermentation を1 kg単位でオンライン購入でき、注文時にCoAとSDSが提供されます。

Thermostable Alpha Amylase For High Yield Fermentation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 High Yield Fermentation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. Jaiswal, N., & Jaiswal, P. (2024). Thermostable α -Amylases and Laccases: Paving the Way for Sustainable Industrial Applications. *Processes*.
2. Vasanthan, T., Yeung, J., & Hoover, R. (2001). Dextrinization of Starch in Barley Flours with Thermostable alpha - Amylase by Extrusion Cooking. *Starch-starke*, 53, 616-622.
3. Gutiérrez-García, A. K., Alvarez-Guzmán, C. L., & León-Rodríguez, A. D. (2020). Autodisplay of alpha amylase from Bacillus megaterium in E. coli for the bioconversion of starch into hydrogen, ethanol and succinic acid. *Enzyme and Microbial Technology*, 134, 109477 .
4. Chen, P., Xu, R., Wang, J., Zheng-Wu, Yan, L., Zhao, W., Liu, Y., ... et al. (2018). Starch biotransformation into isomaltooligosaccharides using thermostable alpha-glucosidase from Geobacillus stearothermophilus. *PeerJ*, 6.
5. Richardson, T., Tan, X., Frey, G., Callen, W., Cabell, M., Lam, D., Macomber, J. L., ... et al. (2002). A novel, high performance enzyme for starch liquefaction. Discovery and optimization of a low pH, thermostable alpha-amylase. *Journal of Biological Chemistry*, 277 29, 26501-7 .
6. Maity, S., Mallik, S., Basuthakur, R., & Gupta, S. (2015). Optimization of Solid State Fermentation Conditions and Characterization of Thermostable Alpha Amylase from Bacillus subtilis (ATCC 6633). *Journal of bioprocessing & biotechniques*, 2015, 1-7.
7. Fincan, S., Özdemir, S., Karakaya, A., Enez, B., Mustafafov, S. D., Ulutaş, M. S., & Sen, F. (2020). Purification and characterization of thermostable α -amylase produced from Bacillus licheniformis So-B3 and its potential in hydrolyzing raw starch. *Life Science*, 118639 .

8. Wu, X., Wang, Y., Tong, B., Chen, X., & Chen, J. (2018). Purification and biochemical characterization of a thermostable and acid-stable alpha-amylase from Bacillus licheniformis B4-423. *International Journal of Biological Macromolecules*, 109, 329-337 .
9. Rai, S., & Solanki, M. K. (2014). Optimization of thermostable alpha-amylase production via mix agricultural-residues and Bacillus amyloliquefaciens. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj- napoca*, 6, 105-111.
10. Zhu, H., Reynolds, L., Menassa, R., & Menassa, R. (2017). A hyper-thermostable α -amylase from Pyrococcus furiosus accumulates in Nicotiana tabacum as functional aggregates. *BMC Biotechnology*, 17.
11. Chauhan, G., Kumar, V., Arya, M., Kumari, A., Srivastava, A., Khanna, P., & Sharma, M. (2023). Mining of Thermostable Alpha-amylase Gene from Geothermal Springs using a Metagenomics Approach. *Journal of Pure and Applied Microbiology*.
12. Amfep Safe Handling Guide 2023.Pdf. *Amfep*.


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。