

Starch Hydrolysis Enzyme Alpha Amylase Thermostable Enzyme | 高温デンプン加水分解・液化 用の耐熱性 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

Starch Hydrolysis Enzyme Alpha Amylase Thermostable Enzymeは、高温域のデンプン処理でデンプン鎖内部の α -1,4-グリコシド結合を切断し、糊化デンプンの分子量と粘度を下げるために用いられる耐熱性 α -アミラーゼです。主な用途は、デンプン液化、糖化前処理、シロップ・マルトデキストリン製造、発酵原料処理、繊維のデンプン糊抜きなどです。耐熱性タイプは、加熱により粘度が上がったデンプンスラリーを冷却しすぎずに処理しやすい点で、工業的なデンプン加水分解工程に適しています^[1]。

Enzymes.bioは本酵素の供給業者であり、製造業者または研究所としての位置づけではありません。本製品は1kg単位でオンラインから直接購入でき、注文時にはCoAおよびSDSが併せて提供されます。

耐熱性 α -アミラーゼとは何か

α -アミラーゼは、デンプン、アミロース、アミロペクチンなどの α -グルカン中に存在する α -1,4-グリコシド結合を内部から加水分解するエンド型酵素です。端からグルコースを1分子ずつ外す酵素ではなく、長いデンプン鎖の途中に切れ目を入れるため、比較的早い段階で高分子デンプンを短いデキストリンやマルトオリゴ糖へ変え、スラリーの流動性を改善します。発芽中のエンドウデンプン加水分解や技術的プロセスにおける α -アミラーゼ作用を扱った研究でも、 α -アミラーゼはデンプン構造の分解に直接関与する主要酵素として議論されています^[2]。

「thermostable enzyme」としての耐熱性 α -アミラーゼは、加熱を伴うデンプン液化工程に合わせて利用しやすい性質を持つ酵素群を指します。デンプンは水中で加熱されると糊化し、顆粒構造が崩れて水を抱き込み、粘度の高いペースト状またはスラリー状になります。この段階で酵素が熱に弱いと、酵素添加前に大きく冷却する必要が生じ、粘度、混合、熱交換、微生物管理の点で不利になります。耐熱性アミラーゼは、こうした高温デンプン処理に適用される酵素として、微生物探索、生産、タンパク質工学、工業応用の観点から継続的に研究されています^[1]。

耐熱性 α -アミラーゼの由来は一つではありません。Bacillus属、Geobacillus属、Thermotoga属など、熱に適応した微生物または工業酵素として扱いやすい微生物から、さまざまな α -アミラーゼが報告されています。たとえば、Bacillus mojavensis SO-10由来の新規な生デンプン分解性耐熱 α -アミラーゼは、デンプン産業での利用を目的に精製・特性評価されています[3]。また、Geobacillus sp. DS3由来の組換え耐熱性 α -アミラーゼは、多孔質デンプンの作製用途で検討されています[4]。

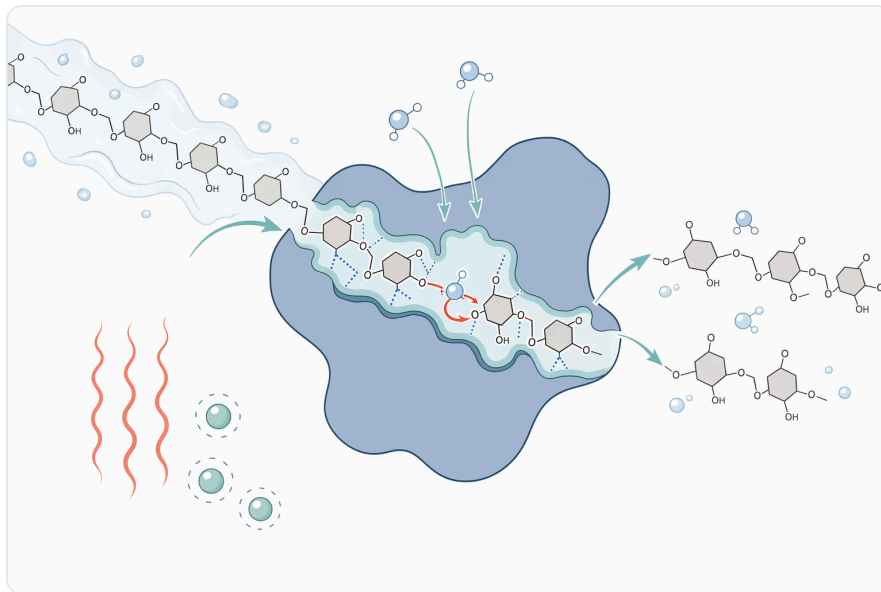


Figure 1. 알파-아밀레이스는 아밀로스 및 아밀로펙틴의 내부 α -1,4 결합을 절단해 더 짧은 덱스트린과 수용성 탄수화물을 형성함으로써 전분 페이스트의 점도를 빠르게 낮춘다.

デンプン加水分解で解決する工程上の課題

糊化デンプンの高粘度を下げる

デンプンを含む原料を加熱すると、デンプン顆粒が膨潤・崩壊し、アミロースやアミロペクチンが水相へ広がります。この状態では、分子量の大きいポリマーが水を強く保持するため、攪拌機の負荷、ポンプ移送性、配管内流動、熱伝達が悪化します。 α -アミラーゼはデンプン鎖の内部を切断して平均分子量を下げるため、粘度低下に直結します。 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の速度論研究でも、デンプンを段階的に低分子糖へ変換する工程設計の中で、 α -アミラーゼの初期分解作用が重要な位置を占めています[5]。

耐熱性 α -アミラーゼの実務的な価値は、「糖を作る」ことだけではなく、「扱いにくい糊化デンプンを処理可能な液化物へ変える」ことにあります。液化が進むと、デンプン鎖はデキストリン、マルトオリゴ糖、条件によりさらに小さい糖へと変わり、後続の糖化酵素や発酵微生物がアクセスしや

すい基質になります。キャッサバデンプンの加水分解にBacillus subtilis由来アミラーゼを用いた研究では、農業残渣を利用した酵素生産とキャッサバデンプン分解への応用が検討されており、デンプン原料の前処理酵素としての α -アミラーゼの位置づけが示されています^[6]。

高温工程での酵素失活を抑える

一般的なタンパク質酵素は、高温で立体構造がゆるみ、活性部位の形が崩れると反応性を失います。耐熱性 α -アミラーゼでは、分子内部の相互作用、金属イオン結合、疎水性コア、表面電荷分布、サブユニット間相互作用などが熱安定性に関与します。ただし、どの要因が支配的かは酵素ごとに異なります。カルシウムと超音波による α -アミラーゼ構造改変が安定性と触媒効率に影響した研究は、酵素安定化が単なる経験的条件ではなく、タンパク質構造の変化と結びつくことを示しています^[7]。

工業的には、耐熱性があることで、糊化後のデンプンを過度に冷却せずに液化へ進めやすくなります。これは、反応槽内の温度履歴を単純化し、粘度が高い状態での保持時間を短くし、原料混合のばらつきを減らす方向に働きます。熱水環境から耐熱性酵素産生菌をスクリーニングした研究では、温泉由来微生物が耐熱性酵素探索の有力な供給源として扱われており、高温プロセスに適した酵素を得るための生物資源探索が続けられています^[8]。

作用機序： α -1,4結合を内部から切るエンド型加水分解

デンプンは、主に直鎖状のアミロースと分岐状のアミロペクチンから成ります。アミロースはグルコースが α -1,4結合で連なった比較的直線的な鎖であり、アミロペクチンは α -1,4結合の主鎖に α -1,6結合による分岐を持つ巨大分子です。 α -アミラーゼは主として α -1,4結合へ作用し、分子の端ではなく内部結合を切断するため、少数の切断でも鎖長分布を大きく変化させます。エンドウデンプンの α -アミラーゼ加水分解機構を扱った研究では、デンプンの構造変化と酵素反応の関係が、発芽および技術プロセスの両面から検討されています^[2]。

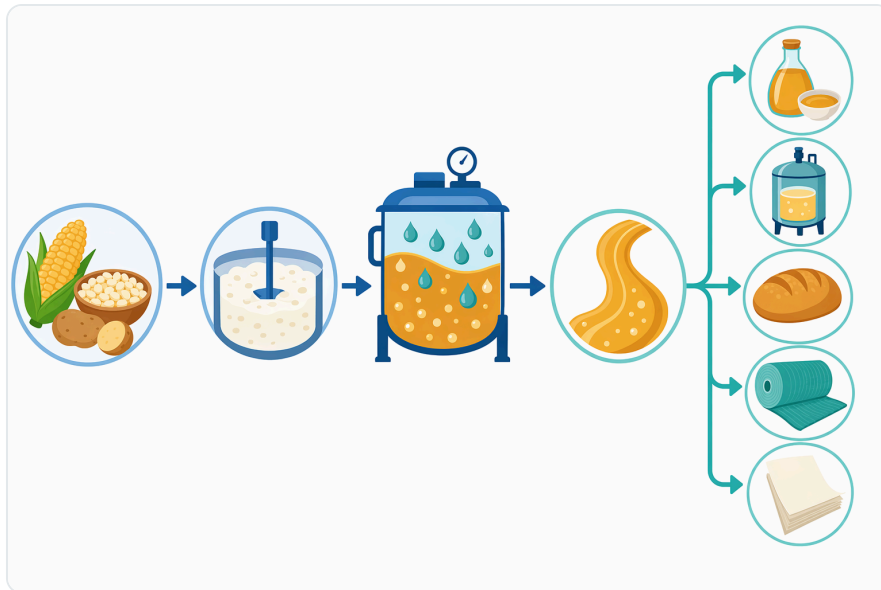


Figure 2. 내열성 알파-아밀레이스는 가열 전분 공정에 적합하다. 호화로 전분 사슬이 노출되는 동안에도 효소가 충분한 활성을 유지해 팽윤된 페이스트를 액화할 수 있기 때문이다.

この「内部切断」という性質が、粘度低下に効きます。高分子溶液の粘度は、単に糖の総量ではなく、分子量の大きい鎖がどれだけ残っているかに強く依存します。α-アミラーゼが数カ所のα-1,4結合を切るだけでも、非常に長いデンプン鎖は複数の短い鎖へ分かれます。その結果、水相中で絡み合う高分子鎖が減り、攪拌しやすい液化物になります。銀ナノ粒子を含浸した卵殻膜に固定化したα-アミラーゼの速度論研究でも、固定化状態でのデンプン加水分解が取り上げられており、基質であるデンプンへの酵素作用が反応速度と処理効率の中心課題であることがわかります^[9]。

α-アミラーゼ単独で得られる主生成物は、一般にデキストリンやマルトオリゴ糖が中心です。グルコースを主目的にする場合は、α-アミラーゼによる液化の後に、グルコアミラーゼなどのエキソ型酵素が併用されることがあります。suwegデンプンをα-アミラーゼとグルコアミラーゼの混合系で加水分解した研究は、α-アミラーゼによる鎖の短縮と、グルコアミラーゼによるより深い糖化を組み合わせる考え方を示しています^[5]。

液化、糖化、マルトデキストリン化の違い

デンプン処理では、「液化」「糖化」「マルトデキストリン製造」が混同されることがありますが、酵素の役割は異なります。耐熱性α-アミラーゼは、特に液化段階で中心的に使われます。液化では、糊化した高分子デンプンを短いデキストリンへ変え、粘度を下げるのが主目的です。一方、糖化では、デキストリンやオリゴ糖をさらにグルコース、マルトース、その他の低分子糖へ変えることが目的になります。廃キャッサバデンプンからα-アミラーゼを用いてグルコースシロップを製造する研究では、廃棄デンプンを価値ある糖液へ変換する文脈でα-アミラーゼの利用が検討されています^[10]。

マルトデキストリン製造では、完全糖化ではなく、一定範囲の分子量を持つデキストリン混合物を得ることが狙いになります。市販トウモロコシデンプンから α -アミラーゼ濃度、温度、加水分解時間を変えてマルトデキストリンを合成し、デキストロス当量を評価した研究は、 α -アミラーゼ処理の深さが生成物特性に関わることを示しています^[11]。つまり、同じデンプン加水分解でも、最終用途がシロップなのか、マルトデキストリンなのか、発酵原料なのかによって、望ましい分解度は異なります。

工程目的	主に期待される変化	α -アミラーゼの役割	代表的な後続処理・用途
デンプン液化	高分子デンプンの短鎖化、粘度低下	糊化デンプン内部の α -1,4結合を切断	糖化、発酵、シロップ製造
糖化前処理	糖化酵素が作用しやすいデキストリン化	長鎖基質をグルコアミラーゼ等が処理しやすい形にする	グルコース、マルトース、発酵性糖の生成
マルトデキストリン化	一定範囲のデキストリン生成	加水分解度を制御しながら鎖長分布を調整	食品素材、粉末化原料、増量・賦形用途
繊維糊抜き	デンプン糊の分解・除去	繊維上のデンプン系糊を可溶化しやすくする	染色・仕上げ前処理
多孔質デンプン作製	デンプン粒子表面・内部の構造改変	デンプン粒子を酵素的に侵食し孔形成を促す	吸着材、食品・機能性素材研究

耐熱性が重要になる産業用途

デンプン液化と澱粉糖・シロップ製造

澱粉糖やシロップ製造では、デンプン質原料を水とともに加熱し、糊化させてから酵素的に分解します。耐熱性 α -アミラーゼは、ここで高分子デンプンをデキストリンへ変換し、粘度を下げ、後続糖化へ移りやすい状態を作ります。廃キャッサバデンプンからグルコースシロップを得る研究は、 α -アミラーゼを利用したデンプン資源の糖化利用を、より持続可能な原料活用の一例として示しています^[10]。

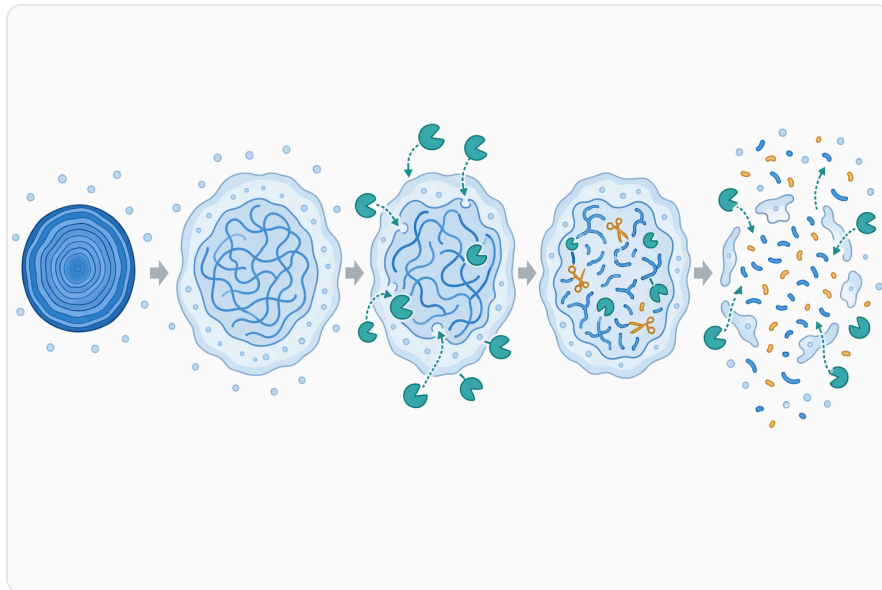


Figure 3. 초기 가수분해는 기공을 만들고 더 많은 전분 사슬을 노출시켜, 효소가 과립 구조 내부로 점진적으로 접근할 수 있게 한다.

キャッサバ、トウモロコシ、ジャガイモ、米、小麦など、原料ごとにデンプン顆粒のサイズ、アミロース比率、リン酸化度、糊化挙動が異なります。そのため、 α -アミラーゼの働き方も原料により変わります。gadungデンプンを α -アミラーゼでグルコースへ加水分解した研究は、特定植物デンプンに対する酵素分解プロファイルを扱っており、原料デンプンの種類が反応設計上の重要因子であることを示しています^[12]。

マルトデキストリンと加工食品素材

マルトデキストリンは、デンプンを部分的に加水分解したデキストリン混合物で、食品加工では粉末化補助、食感調整、固形分付与などの目的で利用されます。 α -アミラーゼによる処理では、反応時間、温度、基質濃度、酵素添加条件などにより加水分解度が変わり、最終的なデキストリンの性質が変化します。トウモロコシデンプンからマルトデキストリンを合成した研究では、 α -アミラーゼ処理条件の違いがデキストロース当量に影響することが検討されています^[11]。

耐熱性 α -アミラーゼは、食品素材製造において、加熱済みデンプンを扱う場面で有用です。高温で処理できると、粘度の高い段階を短くしやすく、均一な混合や連続処理に組み込みやすくなります。ただし、マルトデキストリン用途では「分解しすぎない」ことも重要です。グルコースシロップでは深い糖化が望まれる一方、マルトデキストリンでは鎖長を残す必要があるため、 α -アミラーゼの役割は最終糖組成の設計と密接に関わります^[11]。

発酵原料の前処理

発酵産業では、デンプン質原料を微生物が利用できる糖へ変える必要があります。酵母や乳酸菌など多くの発酵微生物は、未処理の高分子デンプンを十分に利用できないため、液化と糖化を通じて発酵性糖を供給します。耐熱性 α -アミラーゼは、まず高分子デンプンをデキストリンへ変え、後続の糖化酵素や発酵微生物の利用性を高める前段階を担います。リグノセルロースからD-乳酸へ変換する同時糖化発酵研究では、酵素使用量の低減と糖化・発酵の統合が工程効率に関わる課題として扱われています^[13]。



Figure 4. 알파-아밀레이스는 빠른 내부 사슬 절단과 액화 효과를 통해 베타-아밀레이스, 글루코아밀레이스, 분지 제거 효소와 가장 잘 구별된다.

デンプン系発酵でも、考え方は同じです。 α -アミラーゼによる液化で原料の粘度を下げ、次に糖化酵素で発酵性糖を増やし、発酵槽へ供給しやすい糖液を得ます。ここで耐熱性があると、加熱殺菌や糊化に近い温度帯から液化へ移行しやすく、原料処理の温度段差を抑えた工程設計がしやすくなります。混合食品廃棄物を耐熱性グルコアミラーゼで高付加価値化する研究も、糖化酵素を使った廃棄物系バイオリファイナーの文脈で、加熱条件に耐える酵素の意義を示しています^[14]。

繊維のデンプン糊抜き

繊維加工では、製織時の糸切れを抑えるためにデンプン糊が使われることがあります。染色や仕上げ工程の前には、この糊を除去する必要があります。耐熱性 α -アミラーゼは、繊維表面に付着したデンプン糊を加水分解し、水洗で除去しやすい可溶性デキストリンへ変えます。Thermotoga petrophila由来の高耐熱性 α -アミラーゼをE. coliで発現させ、パイロットスケールで生産し、繊維産業の糊抜き剤として応用した研究は、耐熱性 α -アミラーゼの非食品用途を示す代表例です^[15]。

繊維糊抜きでは、酵素がセルロース繊維そのものではなく、デンプン糊へ選択的に作用する点が重要です。酸や強アルカリによる処理に比べ、酵素処理はデンプン結合を狙って切るため、基材への余分な負荷を抑えた前処理として検討されます。Bacillus amyloliquefaciens由来 α -アミラーゼをパン廃棄物基質で最適化し、産業排水処理および繊維糊抜きに応用した研究では、廃棄物利用型の酵素生産と繊維用途の接点が見られています^[16]。

多孔質デンプン、紙、洗浄、排水処理

α -アミラーゼは、単にデンプンを糖へ変えるだけでなく、デンプン粒子の構造を酵素的に改変する用途にも使われます。Geobacillus sp. DS3由来の組換え耐熱性 α -アミラーゼは、多孔質デンプン製造への応用が報告されています。多孔質デンプンは、粒子内部や表面に孔を持つため、吸着、保持、包接、徐放などの機能性素材として研究されます^[4]。

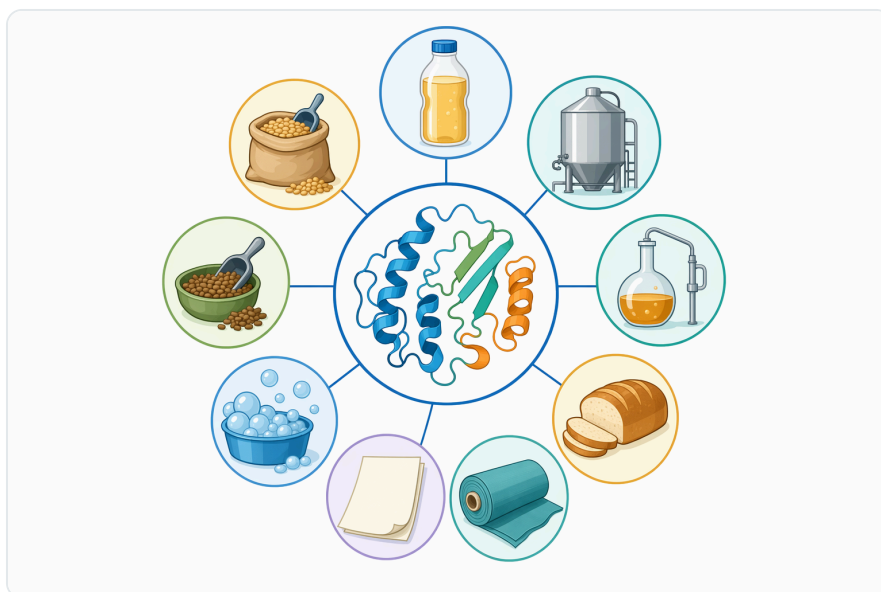


Figure 5. 내열성 알파-아밀레이스는 액화 공정, 식품 및 음료 가공, 섬유 호발 제거, 전분이 풍부한 잔류물 관리, 세정, 사료 및 바이오매스 응용 등 다양한 분야에서 사용된다.

洗浄分野では、食品残渣や糊状汚れに含まれるデンプンを分解して除去しやすくする目的で α -アミラーゼが利用されます。排水処理では、デンプンを含む有機性廃水の分解補助として酵素が検討されることがあります。Bacillus amyloliquefaciens由来 α -アミラーゼの研究では、産業排水処理と繊維糊抜きへの応用が同じ枠組みで取り上げられており、デンプン分解酵素が食品以外の工程にも関係することが示されています^[16]。

耐熱性 α -アミラーゼの性能を左右する要因

温度とタンパク質構造

耐熱性 α -アミラーゼの性能は、単に「高温でも働く」という一語では説明できません。温度が上がると、基質であるデンプンは糊化して酵素がアクセスしやすくなる一方、酵素タンパク質は熱変性のリスクを受けます。耐熱性酵素では、この二つのバランスが重要です。耐熱性酵素研究の計量書誌分析では、耐熱性酵素が産業バイオテクノロジーの重要テーマとして広く研究されていることが示されており、高温プロセスに適した酵素の探索と改良が継続的な関心領域であることがわかります^[17]。

タンパク質工学の観点では、アミノ酸配列や立体構造の改変により、安定性や触媒性能を改善する試みがあります。耐熱性D-アルロース3-エピメラーゼの配列・構造に基づく探索とコンピュータ支援タンパク質工学の研究は、対象酵素は α -アミラーゼではないものの、耐熱性酵素を構造情報から改良するという現代的なアプローチを示しています^[18]。 α -アミラーゼでも同様に、由来微生物の探索、組換え発現、構造改変、固定化などが耐熱性と実用性を高めるために検討されています。

pH、金属イオン、添加条件

α -アミラーゼの活性と安定性はpHにも左右されます。デンプン液化、糖化、発酵、糊抜き、洗浄では、それぞれ工程pHが異なるため、酵素の安定領域と反応領域が工程に合うかが重要です。ただし、最適pHや安定pH範囲は酵素の由来によって異なります。Bacillus mojavensis SO-10由来の生デンプン分解性耐熱 α -アミラーゼの研究では、精製、特性評価、デンプン産業での利用が扱われており、工業利用では由来ごとの性質を把握する必要があることを示しています^[3]。

金属イオン、特にカルシウムは、多くの α -アミラーゼで構造安定化に関わる因子として知られています。カルシウムが結合すると、酵素分子内の柔軟な領域が安定化し、熱による立体構造の崩れが抑えられる場合があります。ただし、すべての α -アミラーゼが同じ金属依存性を示すわけではありません。カルシウムと超音波による α -アミラーゼ構造改変研究は、外部条件が安定性と触媒効率を変え得ることを示す一方で、効果が酵素構造に依存することも示唆します^[7]。

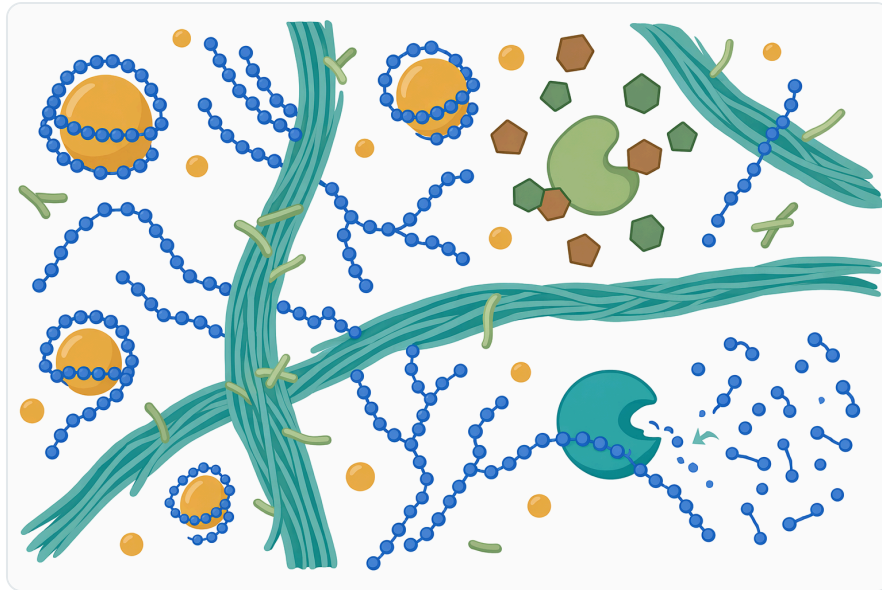


Figure 6. 실제 원료 매트릭스는 효소와 전분의 접촉을 제한하거나 물리적·화학적 장벽을 만들어 알파-아밀레이스의 작용을 늦출 수 있다.

基質の種類と粒子構造

同じ「デンプン」でも、キャッサバ、トウモロコシ、エンドウ、ヤム類、食品廃棄物由来デンプンでは、顆粒構造、結晶性、アミロース含量、非デンプン成分が異なります。α-アミラーゼは溶解・糊化したデンプンにはアクセスしやすい一方、生デンプン粒子には酵素が入り込みにくい場合があります。そのため、生デンプン分解性を持つ耐熱α-アミラーゼは、通常の液化酵素とは別に注目されます。Bacillus mojavensis SO-10由来酵素は「raw starch hydrolyzing thermostable α-amylase」として報告されており、生デンプン分解性と耐熱性を併せ持つ酵素研究の例です^[3]。

多孔質デンプンの作製では、酵素が粒子表面から内部へ侵食するように作用し、孔構造を形成します。この用途では、単なる粘度低下ではなく、粒子形状や孔分布が重要です。Geobacillus sp. DS3由来の耐熱性α-アミラーゼを多孔質デンプン作製に応用した研究は、α-アミラーゼが液体糖化だけでなく、デンプン素材の物理構造改変にも使われることを示しています^[4]。

関連酵素との比較

耐熱性α-アミラーゼはデンプン分解の中心酵素ですが、単独で全用途を完結する酵素ではありません。生成物をどこまで低分子化するか、分岐構造をどう扱うか、最終糖組成をどう設計するかによって、他の酵素と組み合わせる場合があります。特にグルコアミラーゼは、デキストリンの非還元末端からグルコースを生成するため、α-アミラーゼによる液化後の糖化工程でよく組み合わせられます。α-アミラーゼとグルコアミラーゼの混合系によるデンプン加水分解研究は、この段階的分解の考え方を明確に示しています^[5]。

酵素	主な作用位置	主生成物の傾向	工程上の位置づけ
耐熱性 α -アミラーゼ	デンプン鎖内部の α -1,4結合	デキストリン、マルトオリゴ糖	高温液化、粘度低下、糖化前処理
グルコアミラーゼ	非還元末端側から段階的に切断	グルコース	液化後の糖化、グルコースシロップ化
β -アミラーゼ	非還元末端からマルトース単位を生成	マルトース	マルトース富化、醸造・食品用途
プルラナーゼ等の枝切り酵素	α -1,6分岐結合	直鎖化デキストリン	アミロペクチン分岐の処理、糖化効率改善

この比較から分かるように、耐熱性 α -アミラーゼは「高分子デンプンを扱いやすい中間物へ変える」役割が強く、最終糖組成を精密に作るには他酵素との工程設計が関係します。混合食品廃棄物を耐熱性グルコアミラーゼで価値化する研究でも、デンプン系バイオマスを糖へ変える際に、液化と糖化の役割分担が重要であることが示唆されます^[14]。

Enzymes.bioでの供給形態

Enzymes.bioは、Starch Hydrolysis Enzyme Alpha Amylase Thermostable Enzymeを1kg単位でオンライン販売する供給業者です。製品はオンラインで直接購入でき、注文時にCoAおよびSDSが併せて提供されます。製造業者または研究所として特定の生産工程を提示する立場ではなく、B2B用途で利用しやすい供給チャネルとして本酵素を取り扱います。



Figure 7. 내열성 알파-아밀레이스는 열 적응성 미생물과 관련이 있으며, 단백질 공학을 통해 성능을 개선할 수도 있다.

本製品は、デンプン液化、糖化前処理、マルトデキストリン製造、発酵原料処理、繊維糊抜き、デンプン系廃棄物の処理検討など、デンプンの高温加水分解を含む工程に適した酵素として位置づけられます。耐熱性アミラーゼは、熱に強い微生物由来酵素、組換え発現酵素、構造改良酵素など多様な研究背景を持つ酵素群であり、近年も生産、工学的改良、産業応用の観点から活発に検討されています^[1]。

まとめ

Starch Hydrolysis Enzyme Alpha Amylase Thermostable Enzymeは、高温条件下でデンプンの α -1,4結合を内部から加水分解し、糊化デンプンの粘度を下げ、糖化や発酵などの後続工程に適した液化物を作るための耐熱性 α -アミラーゼです。 α -アミラーゼのエンド型作用により、高分子デンプンはデキストリンやマルトオリゴ糖へ短鎖化され、攪拌、移送、熱交換、後続酵素反応が進めやすくなります^[2]。

研究文献では、Bacillus mojavensis由来の生デンプン分解性耐熱 α -アミラーゼ、Thermotoga petrophila由来の高耐熱性 α -アミラーゼの繊維糊抜き応用、Geobacillus由来酵素の多孔質デンプン製造など、デンプン産業と非食品工程の双方で耐熱性 α -アミラーゼの利用が示されています^{[15][3]}。Enzymes.bioの本製品は、1kg単位でオンライン購入でき、CoAおよびSDSが注文時に提供される供給品として、デンプン加水分解を含むB2B工程の検討に利用できます。

Starch Hydrolysis Enzyme Alpha Amylase Thermostable Enzyme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。

[Starch Hydrolysis Enzyme Alpha Amylase Thermostable Enzyme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. Vala, V., Suhagia, T. A., Raina, V., Gurjar, A., Srivastava, S. K., Jain, P., & Alle, M. (2025). Thermostable amylases from thermophilic microbes: advances in production, engineering, and industrial applications. *Nanotechnology*, 37.

2. М а т в е е в , Ю., & А в е р ь я н о в а , Е. В. (2022). ON THE MECHANISM OF PEA STARCH HYDROLYSIS BY ALPHA-AMYLASE DURING GERMINATION AND IN TECHNOLOGICAL PROCESSES. *Южно-Сибирский научный вестник*.
3. Özdemir, S., Fincan, S., Karakaya, A., & Enez, B. (2018). A Novel Raw Starch Hydrolyzing Thermostable α -Amylase Produced by Newly Isolated Bacillus mojavensis SO-10: Purification, Characterization and Usage in Starch Industries. *Brazilian Archives of Biology and Technology*.
4. Kurniawan, D. C., Rohman, M. S., & Witasari, L. (2024). Heterologous expression, characterization, and application of recombinant thermostable α -amylase from Geobacillus sp. DS3 for porous starch production. *Biochemistry and Biophysics Reports*, 39.
5. Hargono, H., Jos, B., Budiyo, B., Sumardiono, S., Priyanto, S., Haryani, K., & Zakaria, M. (2020). Hydrolysis kinetic of suweg (Amorphophallus campanulatus B) starch using a mixture of alpha amylase and glucoamylase.
6. S, R. (2025). Production of Bacillus subtilis Amylases via Agroresidues and Their Application in Cassava Starch Hydrolysis. *Uttar Pradesh Journal of Zoology*.
7. Abedi, E., Torabizadeh, H., & Orden, L. (2023). Enhancement of Alpha-amylase's Stability and Catalytic Efficiency After Modifying Enzyme Structure Using Calcium and Ultrasound. *Food and Bioprocess Technology*, 17, 1546 - 1562.
8. Guta, M., Abebe, G., Bacha, K., & Cools, P. (2024). Screening and characterization of thermostable enzyme-producing bacteria from selected hot springs of Ethiopia. *Microbiology spectrum*, 12.
9. R, H., & Narula, A. (2022). Kinetics of immobilized alpha amylase impregnated with silver nanoparticles in Egg Shell Membrane for enhanced starch hydrolysis. *Egyptian Journal of Chemistry*.
10. Aderibigbe, F. A., Babatunde, E. O., Ochapa, S. O., & Saka, H. (2024). Green Synthesis for the Production of Glucose Syrup from Waste Cassava Starch Using Alpha-Amylase. *FUOYE Journal of Engineering and Technology*.
11. Fathoni, R., & Zahratunnisa, Z. (2024). Synthesis of Maltodextrin from Commercial Corn Starch with Variation of Alpha Amylase Concentration, Temperature and Hydrolysis Period for Determining Dextrose Equivalen Value. *Jurnal Chemurgy*.
12. Agustina, U., Hasan, A., & Purnamasari, I. (2024). Hydrolysis profile of gadung (dioscorea hispida dennst) starch to glucose using alpha amylase enzyme. *Jurnal Teknik Kimia*.
13. J., V. P., Sahoo, T. K., S., N., & Jayaraman, G. (2020). Evolutionary engineering of Lactobacillus bulgaricus reduces enzyme usage and enhances conversion of lignocellulosics to D-lactic acid by simultaneous saccharification and fermentation. *Biotechnology for Biofuels*, 13.
14. Das, S., T, C., Selvasembian, R., & Prabhu, A. A. (2024). Mixed food waste valorization using a thermostable glucoamylase enzyme produced by a newly isolated filamentous fungus: A sustainable biorefinery approach. *Chemosphere*, 141480 .
15. Zafar, A., Aftab, M., Iqbal, I., Din, Z., & Saleem, M. (2019). Pilot-scale production of a highly thermostable α -amylase enzyme from Thermotoga petrophila cloned into E. coli and its application as a desizer in textile industry. *RSC Advances*, 9, 984 - 992.

16. Abd-Elhalim, B. T., Gamal, R., El-Sayed, S., & Abu-Hussien, S. H. (2023). Optimizing alpha-amylase from Bacillus amyloliquefaciens on bread waste for effective industrial wastewater treatment and textile desizing through response surface methodology. *Scientific Reports*, 13.
17. Hussian, C. H. A. C., & Leong, W. Y. (2023). Thermostable enzyme research advances: a bibliometric analysis. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 21.
18. Qi, H., Wang, T., Li, H., Li, C., Guan, L., Liu, W., Wang, J., ... et al. (2023). Sequence- and Structure-Based Mining of Thermostable D-Allulose 3-Epimerase and Computer-Guided Protein Engineering To Improve Enzyme Activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*.


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。