

牛肉・ステーキ軟化用パパイン酵素：Papain Enzyme For Beef And Steak Tenderizing の作用機序と食品加工用途

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

パパイン酵素は、パパイヤ由来の植物性プロテアーゼとして、牛肉やステーキの硬さに関与する筋原線維タンパク質や結合組織周辺のタンパク質構造を部分的に加水分解し、噛み切りやすさを改善するために使われます。牛肉の軟化は「肉を溶かす」処理ではなく、時間・温度・接触状態を管理しながら、硬さを生むタンパク質ネットワークを制御してゆるめる加工です^[1]。Enzymes.bioは製造業者や研究所ではなく、食品加工向け酵素を1kg単位でオンライン直接販売する供給業者であり、CoAとSDSは注文時に併せて提供されます。

パパイン酵素とは何か：牛肉・ステーキ軟化に使われる植物性プロテアーゼ

パパインは、パパイヤ (*Carica papaya*) に由来するタンパク質分解酵素で、食品分野では植物性プロテアーゼの代表例として扱われます。レビュー文献では、パパインは食品産業で長く利用されてきた酵素であり、タンパク質のペプチド結合を切断する能力を背景に、食肉軟化を含む複数の食品加工用途に応用されていると整理されています^[2]。

牛肉・ステーキ軟化向けのパパイン酵素は、赤身が強い部位、結合組織が多い部位、短時間調理で硬さが目立ちやすいステーキ、焼肉用スライス、マリネ肉、惣菜・外食向け下処理肉などで、食感を設計するための加工補助素材として位置づけられます。食肉軟化における植物プロテアーゼの利用は、パパイン、ブロメライン、フィシンなどを中心に検討されており、硬い肉の食感改善に関する技術的蓄積があります^[3]。

Enzymes.bioが扱う Papain Enzyme For Beef And Steak Tenderizing は、牛肉やステーキの食感調整に関心を持つ食品加工事業者向けの酵素製品です。Enzymes.bioは製造業者ではなく供給業者であり、本製品はオンラインで1kg単位から直接購入できます。注文時には、該当ロットに関連するCoAとSDSが併せて提供されます。

牛肉が硬く感じられる構造的理

牛肉の硬さは、単一の成分だけで決まるものではありません。筋線維を構成する筋原線維タンパク質、筋線維を束ねる結合組織、コラーゲンを含む細胞外マトリックス、死後熟成中の内在性酵素反応、加熱時のタンパク質変性と水分保持性が重なり合って、最終的な噛み応えを形成します^[4]。

死後熟成では、筋肉内にもともと存在するカルパイン系酵素が筋原線維構造の一部を分解し、肉の軟化に関与します。しかし、その進行は原料個体、部位、pH推移、冷蔵条件、熟成期間などに左右されるため、加工現場ではロット間の食感差が残ることがあります。外因性プロテアーゼであるパパインは、この自然な熟成反応を置き換えるものではなく、加工工程内で追加的にタンパク質構造へ働きかける手段です^[4]。

ステーキ用途では、厚みがあるため表面と中心部で酵素接触到に差が生じやすく、焼肉用スライスやマリネ肉では相対的に接触面積が大きいため、酵素反応が食感に反映されやすくなります。肉の軟化技術に関するレビューでは、酵素処理、機械的処理、熟成、物理的技術などが比較されており、製品形態によって有効な方法が異なることが示されています^[5]。

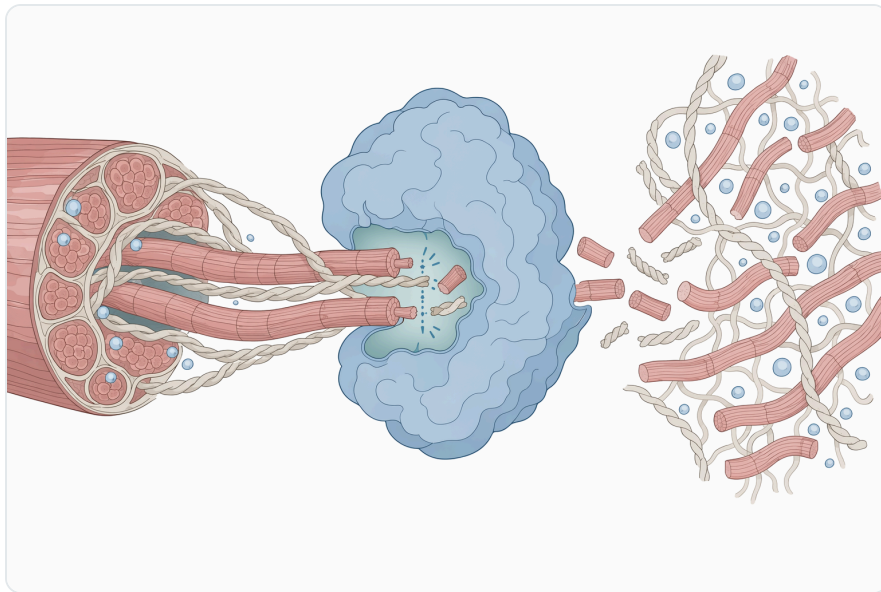


Figure 1. 파파인은 접근 가능한 고기 단백질을 절단해 소고기를 연하게 만들어, 씹고 물 때 근육 구조가 주는 저항을 줄여준다.

パパインが牛肉を軟らかくする機序

筋原線維タンパク質への作用

パパインの基本作用は、タンパク質中のペプチド結合を加水分解することです。牛肉では、アクチン、ミオシン、トロポニン、トロポミオシン、デスミン、タイチンなどの筋原線維関連タンパク質が、筋線維の構造維持や加熱後の噛み応えに関与します。植物プロテアーゼによる食肉軟化では、これらの筋原線維構造が部分的に分解され、筋線維間の結びつきが弱まり、せん断抵抗が下がる方向に働くと説明されています^[3]。

この作用は、肉の内部構造を完全に崩壊させることを目的とするものではありません。狙いは、過度に硬い繊維感をゆるめ、咀嚼時に歯が入りやすく、噛み切りやすい状態へ近づけることです。処理が適切であれば、赤身部位やステーキ用カット肉で感じられる強い抵抗を緩和できますが、反応が進みすぎると、肉らしい弾力や繊維感が失われる可能性があります^[6]。

結合組織とコラーゲン周辺への影響

牛肉の硬さには、筋線維そのものだけでなく、筋束を取り囲む結合組織も大きく関係します。とくに、運動量の多い部位や成熟した個体由来の肉では、コラーゲンを含む結合組織の寄与が大きくなり、短時間加熱では噛み切りにくさとして現れます。植物由来プロテアーゼは、筋原線維タンパク質に加えて結合組織周辺のタンパク質にも作用し、食感変化に寄与するとされています^[1]。

ただし、パパイン処理だけで結合組織のすべての硬さが解消されるわけではありません。コラーゲンの熱変性、加熱時間、水分移動、脂肪含量、肉の厚みは、最終的なステーキ食感に引き続き影響します。したがって、パパインは原料肉の品質を無関係にする万能処理ではなく、結合組織や筋線維由来の硬さを加工工程内で調整する手段と捉えるのが実務的です^[5]。

表面作用と浸透の限界

酵素は、肉タンパク質に接触した場所から反応します。粉末をそのまま表面に付着させる場合でも、マリネ液に分散させる場合でも、厚いステーキでは中心部まで均一に作用するとは限りません。植物プロテアーゼの食肉軟化に関するレビューでも、酵素の分布、処理時間、温度、基質へのアクセス性が最終的な軟化効果を左右する要因として扱われています^[3]。

このため、薄切り牛肉、サイコロステーキ、マリネ用カット肉、タンブリング工程を伴う味付け肉では、パパインが肉表面へ広く接触しやすく、食感調整の再現性を得やすい傾向があります。一方、厚切りステーキでは、表面だけが過度に軟らかくなり、中心部は十分に変化しないという不均一性が生じる場合があるため、処理の設計では肉厚と接触様式を考慮する必要があります^[6]。

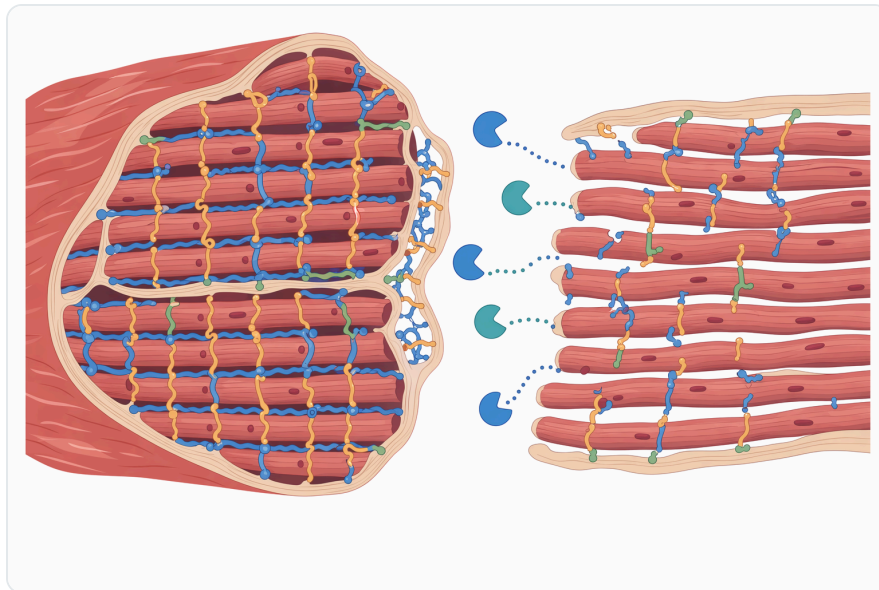


Figure 2. 제어된 파파인 처리는 섬유질 고기 구조를 파괴하지 않으면서 근육과 결합조직 관련 구조의 단백질 결합을 약화시킨다.

内在性熟成とパパイン処理の違い

牛肉の自然な熟成では、死後変化に伴って筋肉内の酵素系が働き、筋原線維構造を徐々に変化させます。カルパイン系は死後軟化の中心的因子の一つとされ、筋原線維タンパク質の分解を通じて熟成中の柔らかさに寄与しますが、その活性は時間経過、カルシウム環境、pH、温度、阻害因子などに影響されます^[4]。

パパイン処理は、こうした内在性熟成と異なり、外から加えた植物性プロテアーゼによってタンパク質分解を促す方法です。熟成は肉自身の生化学的変化を利用するのに対し、パパインは加工工程の中で作用時間や接触方法を設計しやすい点が特徴です。ただし、外因性酵素は強く作用しすぎると望ましくないテクスチャー変化を招くため、熟成と同じ感覚で放置すればよいというものではありません^[6]。

近年のレビューでは、死後筋肉のアポトーシス関連現象も肉質や軟らかさに関与する可能性が整理されており、食肉の食感形成が多段階の生化学反応であることが示されています。パパインはその複雑な変化の一部、すなわちタンパク質分解による構造緩和を加工的に利用する素材です^[7]。

パパイン、ブロメライン、フィシンの位置づけ

植物性プロテアーゼとして、食肉軟化用途ではパパインのほかにブロメラインやフィシンもよく比較されます。いずれもタンパク質を加水分解する酵素ですが、由来植物、基質選択性、作用の強さ、食感への出方、風味への影響は同一ではありません。レビュー文献では、植物プロテアーゼが食肉軟化に広く利用される一方、過剰分解による品質低下の管理が重要だとされています^[8]。

酵素	一般的な由来	牛肉・ステーキ軟化での主な見方	食感設計上の注意点
パパイン	パパイヤ	筋原線維タンパク質と結合組織周辺へ幅広く作用し、牛肉の噛み切りやすさ改善に使われる代表的な植物性プロテアーゼ	作用が進みすぎると表面が軟らかくなりすぎ、繊維感が弱まる
ブロメライン	パイナップル	食肉軟化でよく比較される植物性プロテアーゼで、タンパク質分解により硬さを低減する	目的食感に対して反応が強く出る場合があり、処理設計が重要
フィシン	イチジク	パパイン、ブロメラインと並ぶ植物性プロテアーゼとして扱われる	原料肉や製品形態によって食感変化の出方が異なる
内在性カルパイン	肉中に存在	死後熟成中の自然な軟化に関与する	加工工程で外から添加する酵素ではなく、原料条件に依存する

この比較で重要なのは、パパインが「唯一の軟化手段」ではなく、食肉加工で利用される複数の軟化技術の一つであるという点です。植物プロテアーゼ全般のレビューでは、パパイン、ブロメライン、フィシンなどが食肉のタンパク質構造を変化させることで軟化に寄与する一方、過度な処理ではペースト状、粉っぽさ、表面崩れなどの望ましくない変化が起こり得ると整理されています^[9]。

牛肉・ステーキ加工での実用的な使い方の考え方

マリネ・調味工程への組み込み

パパインは、牛肉のマリネ液や調味液に組み込まれることが多い酵素です。マリネ工程では、塩、糖、有機酸、香辛料、油脂、うま味成分などとともに肉表面へ液が接触するため、酵素も同じ工程で分散しやすくなります。植物プロテアーゼの食肉応用では、処理条件と肉への接触状態が軟化効果を左右するため、マリネはパパインを利用しやすい形態の一つです^[1]。

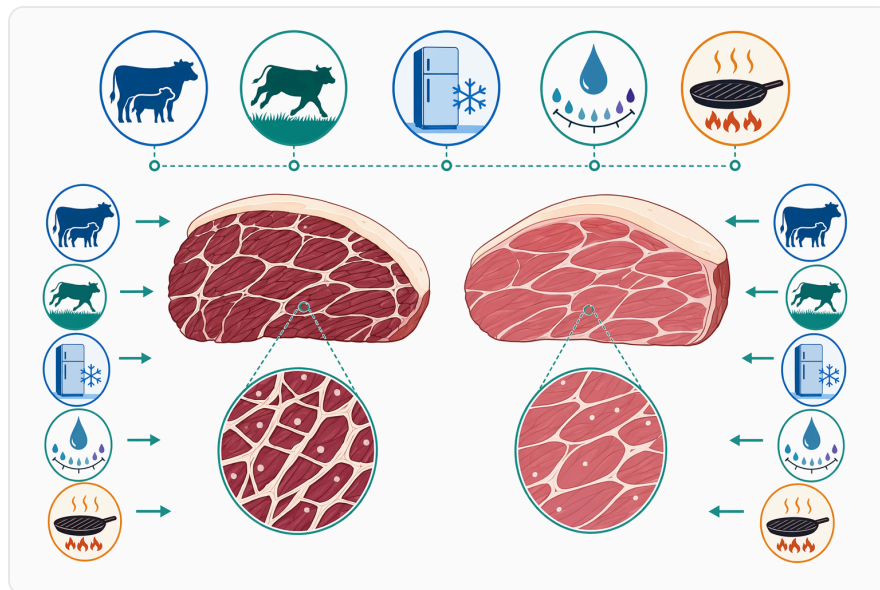


Figure 3. 소고기의 연도는 근육의 생물학적 특성, 결합조직, 도축 후 처리, pH, 조리 조건이 모두 최종 식감에 영향을 미치기 때문에 달라진다.

マリネ肉では、単に軟らかさだけでなく、調味の均一性、ドリップ、焼成時の歩留まり、表面の焼き色、口中でのほぐれ方が総合的に評価されます。パパインはタンパク質分解により食感へ直接働きますが、調味液中の塩分や酸性成分、糖類、油脂、保水性素材との組み合わせによって、最終的な官能印象は変わります^[5]。

ステーキ用カット肉への適用

ステーキ用牛肉では、厚みがあるため酵素反応が表面寄りに出やすい点を理解しておく必要があります。表面に過度な反応が起こると、焼成後に外側だけが崩れやすく、中心部との食感差が目立つ場合があります。外因性プロテアーゼのレビューでは、軟化効果と過剰分解のバランスが、食肉品質の実用上の重要課題として扱われています^[6]。

ステーキ用途での設計では、肉厚、脂肪交雑、筋の入り方、焼成温度、提供時の中心温度、ソースや調味の有無まで含めて考える必要があります。パパイン処理は、硬い部位をすべて高級部位のように変える技術ではなく、特定の製品コンセプトに合わせて噛み応えを調整する加工手段です^[3]。

焼肉用スライス・薄切り肉

焼肉用スライスや薄切り牛肉では、肉の厚みが小さいため、パパインの接触面積が相対的に大きくなります。そのため、短い工程内でも食感変化が現れやすく、過度な反応に注意が必要です。食肉軟化法の比較レビューでは、製品形態によって最適な軟化アプローチが変わることが示されており、薄切り製品では均一接触と反応制御が重要になります^[5]。

薄切り肉では、噛み切りやすさが改善される一方で、焼成時の崩れ、網や鉄板への付着、過度な水分流出、粉っぽい口当たりが課題になることがあります。パパインは強いタンパク質分解能を持つため、食感を「軟らかい」方向へ動かすだけでなく、「肉らしさをどこまで残すか」を同時に設計する必要があります^[8]。

惣菜・外食向け下処理肉

セントラルキッチン、外食チェーン、惣菜工場では、店舗や調理者ごとの差を抑え、一定の食感を再現することが重要です。パパインを用いた下処理は、調味、マリネ、タンブリング、加熱前保管などの工程と組み合わせて、最終製品の噛み応えを標準化するための一要素になります。食品産業における酵素利用は、食感、風味、加工性の改善を目的とした実用技術として広く整理されています^[10]。

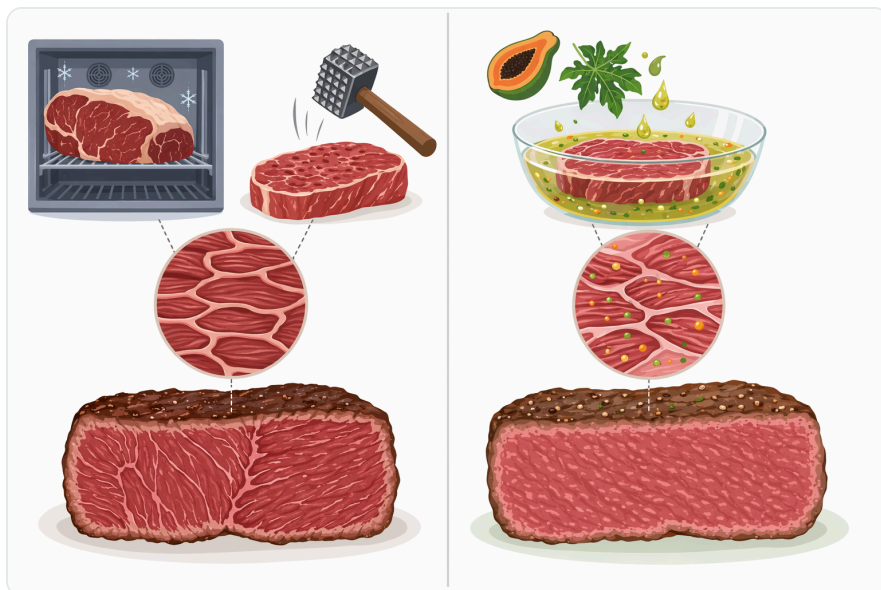


Figure 4. 파파인, 브로멜라인, 피신, 그리고 숙성 과정의 내인성 효소는 모두 단백질분해를 통해 고기를 연하게 하지만, 원천, 실제 사용 방식, 작용 속도, 조절상의 위험이 서로 다르다.

この用途では、調理済み弁当、牛肉惣菜、グリルビーフ、ステーキ重、焼肉丼、サンドイッチ用ビーフ、冷凍ミールキットなど、喫食までに複数の工程を経る製品が想定されます。パパインは加熱前のタンパク質構造に作用するため、下処理後の保管時間、再加熱条件、最終提供温度が食感に影響します^[6]。

温度・時間・接触状態が食感を決める

酵素反応は、一般に温度、時間、pH、基質濃度、酵素と基質の接触状態に影響されます。食肉軟化に関するレビューでも、外因性プロテアーゼの効果は処理条件に依存し、同じ酵素であっても原料肉や工程が変わると結果が変化するとされています^[3]。

低温では反応がゆるやかになり、温度が上がると反応が進みやすくなりますが、加熱工程では酵素タンパク質自体も変性し、反応は次第に停止していきます。したがって、冷蔵下でのマリネ、調理前の処理、加熱による反応停止を組み合わせることで、意図した食感に近づけます^[6]。

処理時間が短すぎると十分な軟化が得られず、長すぎると表面の崩れや過軟化が起こりやすくなります。とくに薄切り肉や細切り肉は反応が速く見えやすく、厚切り肉は表面と中心の差が出やすいため、製品形態ごとに食感の出方を理解することが重要です^[5]。

物理的軟化技術との比較

パパイ処理は、熟成、機械的テンダライズ、タンブリング、超音波、高圧処理などと並ぶ食肉軟化アプローチの一つです。それぞれの方法は肉の構造に対する働き方が異なり、酵素処理はタンパク質分解という生化学的作用を利用する点で、刃や針による物理的破断とは異なります^[5]。

軟化アプローチ	主な作用	牛肉・ステーキでの利点	制約・注意点
パパイ酵素処理	タンパク質の部分加水分解	マリネや調味工程に組み込みやすく、硬さを生化学的に緩和できる	過剰反応で表面崩れや過軟化が起こり得る
熟成	内在性酵素による死後変化	風味形成と自然な軟化が期待できる	時間、保管設備、原料差の影響が大きい
機械的テンダライズ	刃・針・圧力による組織破断	反応待ち時間が不要で、厚い肉にも物理的に作用する	肉汁流出、外観変化、衛生管理上の配慮が必要
タンブリング	衝撃・摩擦・液の分散	調味液と酵素の接触を高めやすい	肉片の破損や過度な表面変化に注意
超音波などの物理技術	キャビテーションや微細構造変化	酵素やマリネ液の分散補助として研究される	設備条件と製品適性の検討が必要

超音波処理は、近年の食肉加工研究で非加熱物理技術として検討されており、組織構造の変化やマリネ液移行への影響が議論されています。パパイと物理処理を組み合わせる研究もありますが、牛肉・ステーキ製品での実用設計では、酵素反応と物理的ダメージの合計が食感にどう出るかを慎

重に見る必要があります^[11]。

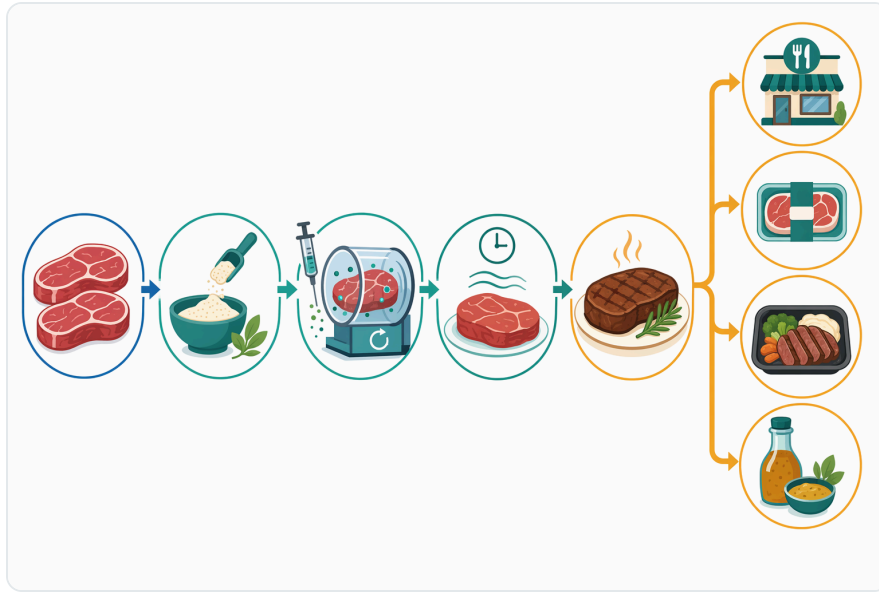


Figure 5. 마리네이드, 염지액, 텀블링, 표면 처리는 파파인이 조리 전에 고기 단백질과 접촉할 수 있도록 고르게 퍼지는 데 도움을 준다.

過度な軟化を避けるための品質設計

パパインを使う際の中心課題は、「十分に軟らかいが、肉らしい繊維感は残る」範囲を見つけることです。外因性プロテアーゼは、適切に使えば硬さを低減できますが、作用が強すぎると、表面のぬめり、崩れ、粉っぽさ、ペースト状の食感、焼成時の形状保持低下につながる可能性があります^[6]。

過度な軟化は、酵素量だけでなく、肉の薄さ、表面積、温度、接触時間、塩分、pH、機械的攪拌、保管時間の組み合わせで起こります。レビュー文献では、植物プロテアーゼによる食肉軟化の有効性と同時に、処理条件の管理が品質維持に不可欠であることが繰り返し指摘されています^[1]。

また、パパイン処理は食品安全管理を代替しません。酵素は食感調整のための加工補助素材であり、原料肉の衛生状態、冷蔵・冷凍管理、交差汚染防止、加熱条件、表示・アレルギー関連の管理は、通常の食品安全システムに従って維持する必要があります。発酵肉や加工肉のレビューでも、食感形成、微生物作用、安全性は別々に考えるのではなく、工程全体で管理されるべき要素として扱われています^[12]。

食感以外に考慮すべき風味・外観・歩留まり

パインは主にタンパク質分解を通じて食感に作用しますが、その結果として肉汁感、噛み出し時のほぐれ、調味液のなじみ、焼成後の表面状態にも影響する場合があります。タンパク質構造がゆるむことで咀嚼抵抗は下がりますが、同時に水分保持や焼成中の収縮挙動が変わることがあるため、食感だけを単独で評価すると製品設計を誤る可能性があります^[3]。

風味面では、酵素分解により小さなペプチドやアミノ酸が増えることで、うま味や後味に変化が生じる場合があります。ただし、過剰な分解は好ましくない苦味や雑味の印象につながることもあるため、パイン処理は調味設計と切り離さずに考える必要があります。食肉加工では、テクスチャー、風味、安全性が相互に関連するため、工程全体でのバランスが重要です^[12]。

外観では、表面の崩れや角の丸まり、ドロップの増加、焼成時の焦げやすさが問題になる場合があります。とくにステーキや焼肉用製品では、見た目の肉らしさが購買判断に直結するため、軟らかさを優先しすぎると商品価値が下がることがあります。外因性プロテアーゼの利用では、食感改善と外観保持の両立が実務上の焦点になります^[6]。

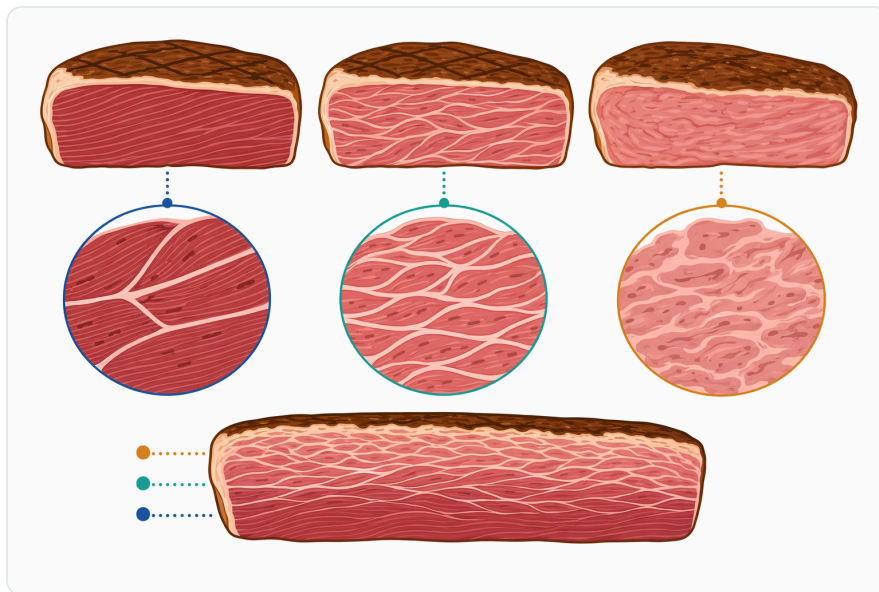


Figure 6. 과도한 연육은 파파인 노출로 단백질 구조가 지나치게 분해될 때 발생하며, 특히 표면이나 처리가 고르지 않은 조각에서 잘 나타난다.

パインが適しやすい製品と適用が難しい製品

パインは、硬さの緩和が明確な価値になる製品に適しています。具体的には、ステーキ用加工肉、焼肉用スライス、マリネビーフ、グリル向けカット肉、牛肉惣菜、冷凍ミールキット向け下処理肉、外食チェーン向けの前処理済み牛肉などが考えられます。植物プロテアーゼは、硬い食肉部位を食べやすくするための加工技術として広く研究されています^[9]。

一方で、肉本来の強い弾力や繊維感を訴求するプレミアムステーキ、熟成香や部位特性を前面に出す製品、薄すぎて崩れやすいスライス、長時間保管される調味肉では、パパインの作用が過剰に感じられる可能性があります。酵素処理は製品コンセプトに合わせる必要があり、「軟らかければよい」という単純な判断では十分ではありません^[5]。

パパインは、原料肉の価値を機械的に高める魔法の素材ではなく、タンパク質分解を通じて食感の一部を制御する加工補助素材です。したがって、赤身の噛み応えを残すステーキ、ほぐれやすさを重視する惣菜、短時間焼成の焼肉用肉では、望ましいゴールが異なります^[1]。

制御放出・固定化技術の研究動向

近年は、酵素を一気に作用させるのではなく、徐々に放出させたり、担体に固定化したりすることで、過度な反応を抑えながら食肉軟化を制御する研究も進んでいます。食肉軟化向けのカプセル化・固定化技術に関するレビューでは、酵素の放出制御が過軟化の抑制や工程適合性の向上に関連する可能性が示されています^[13]。

ただし、こうした技術は研究・開発領域を含むものであり、すべての市販酵素製品が固定化酵素やカプセル化酵素であることを意味しません。食品産業における固定化酵素は、安定性、再利用性、制御性の観点から注目されていますが、食肉製品への実装では、食品設計、規制、コスト、官能品質との統合が必要です^[14]。

Enzymes.bioのPapain Enzyme For Beef And Steak Tenderizingは、牛肉・ステーキ軟化用途で利用されるパパイン酵素として供給されるものであり、本文で述べた制御放出や固定化技術は、食肉酵素利用の研究背景として理解するのが適切です。

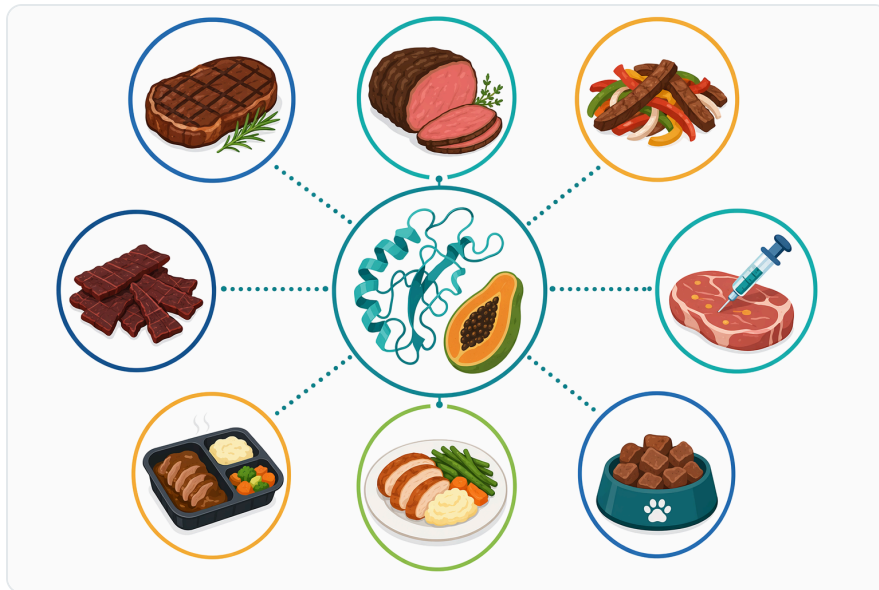


Figure 7. 파파인은 더 부드러운 식감이 분명한 장점이 되는 양념 스테이크, 소고기 스트립, 얇게 썬 고기, 큐브 형태의 고기, 즉석식품 구성 요소, 부가가치 제품에 가장 적합하다.

Enzymes.bioからの購入と資料提供

Enzymes.bioは、食品加工向け酵素を供給するB2Bサプライヤーであり、製造業者や研究所ではありません。Papain Enzyme For Beef And Steak Tenderizing は、オンラインで1kg単位から直接購入でき、オンライン決済後に注文処理と配送が行われます。

注文時には、製品に関連するCoAとSDSが併せて提供されます。CoAは注文品に関する品質情報の確認に、SDSは保管・取り扱い・安全上の基本情報の確認に用いられます。本文は、牛肉・ステーキ軟化におけるパピンの作用機序と加工上の考え方を説明する教育的資料であり、製造仕様や分析法を提示するものではありません。

まとめ：パピンは牛肉・ステーキの食感を設計するための酵素素材

Papain Enzyme For Beef And Steak Tenderizing は、パピヤ由来のタンパク質分解酵素であるパピンを、牛肉やステーキの噛み切りやすさ改善に利用する食品加工向け酵素です。パピンは筋原線維タンパク質や結合組織周辺のタンパク質構造を部分的に加水分解し、硬さを生むネットワークをゆるめることで、食感調整に寄与します^[2]。

実務上の価値は、硬い部位を完全に別物へ変えることなく、ステーキ、焼肉用スライス、マリネ肉、惣菜・外食向け下処理肉などで、目的とする噛み応えに近づける点にあります。効果は肉厚、接触状態、温度、処理時間、調味液組成、加熱条件に左右されるため、過度な軟化を避けながら工程全体で食感を設計することが重要です^[3]。

Enzymes.bioは本製品を1kg単位でオンライン直接販売する供給業者であり、CoAとSDSは注文時に併せて提供されます。牛肉・ステーキ向けのパパイン酵素は、熟成、機械的処理、マリネ、加熱工程と組み合わせて、食品加工現場で食感の安定化と製品設計の柔軟性を高めるための実用的な選択肢です。

Papain Enzyme For Beef And Steak Tenderizing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。

[Papain Enzyme For Beef And Steak Tenderizing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. Azmi, S. I. M., Kumar, P., Sharma, N., Sazili, A., Lee, S., & Ismail - Fitry, M. R. (2023). Application of Plant Proteases in Meat Tenderization: Recent Trends and Future Prospects. *Foods*, 12.
2. Fernández - Lucas, J., Castaneda, D., & Hormigo, D. (2017). New trends for a classical enzyme: Papain, a biotechnological success story in the food industry. *Trends in Food Science and Technology*, 68, 91-101.
3. Madhusankha, G., & Thilakarathna, R. (2021). Meat tenderization mechanism and the impact of plant exogenous proteases: A review. *Arabian Journal of Chemistry*, 14, 102967.
4. Lian, T., Wang, L., & Liu, Y. (2013). A New Insight into the Role of Calpains in Post-mortem Meat Tenderization in Domestic Animals: A review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 26, 443 - 454.
5. Woinue, Y., Ayele, A., Hailu, M., & Chaurasiya, R. (2019). Comparison of different meat tenderization methods: a review. *Food Research*.
6. Bekhit, A. A., Hopkins, D., Geesink, G., Bekhit, A., & Franks, P. (2014). Exogenous Proteases for Meat Tenderization. *Critical reviews in food science and nutrition*, 54, 1012 - 1031.
7. Zhao, Y., Xiang, C., Roy, B., Bruce, H. L., Blecker, C., Zhang, Y., Liu, C., ... et al. (2024). Apoptosis and its role in postmortem meat tenderness: A comprehensive review. *Meat Science*, 219, 109652 .
8. Arshad, M., Kwon, J., Imran, M., Sohaib, M., Aslam, A., Nawaz, I., Amjad, Z., ... et al. (2016). Plant and bacterial proteases: A key towards improving meat tenderization, a mini review. *Cogent Food & Agriculture*, 2.

9. Meat Tenderization through Plant Proteases- A Mini Review. *Semantic Scholar* (2021).
10. Siddikey, F., Jahan, M. I., Hormoni, Hasan, M., Nishi, N. J., Hasan, S., Rahman, N., ... et al. (2025). Enzyme Technology in the Food Industry: Molecular Mechanisms, Applications, and Sustainable Innovations. *Food Science & Nutrition*, 13.
11. Pan, Y., Dai, C., Zhang, L., Zhou, M., Zhu, S., Huang, L., & He, R. (2026). Application of Ultrasonication as an Emerging Non-Thermal Physical Technology in Meat Product Processing: A Review. *Foods*, 15.
12. Ashaolu, T. J., Khalifa, I., Mesak, M., Lorenzo, J., & Farag, M. (2021). A comprehensive review of the role of microorganisms on texture change, flavor and biogenic amines formation in fermented meat with their action mechanisms and safety. *Critical reviews in food science and nutrition*, 63, 3538 - 3555.
13. Dabban, A. J., Evans, E. C., Emmanuel, O. C., Ameh, S. S., F., O. O., Ajibola, A. B., Isa, A. F., ... et al. (2026). A Review on Encapsulation and Immobilization Technologies for Controlled Enzyme Release in Meat Tenderization. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*.
14. Jothyswarupha, K. A., Venkataraman, S., Rajendran, D., Shri, S., Sivaprakasam, S., Yamini, T., Karthik, P., ... et al. (2024). Immobilized enzymes: exploring its potential in food industry applications. *Food Science and Biotechnology*, 34, 1533 - 1555.

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。