

# トランスグルタミナーゼ酵素粉末（CAS 80146-85-6）：食品タンパク質の結着・食感改良に用いるTG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

トランスグルタミナーゼ（TG）は、食品中のタンパク質に含まれるグルタミン残基とリジン残基を共有結合で架橋し、肉、魚介、乳、植物性タンパク質製品の結着性、ゲル強度、保水性、スライス性を変化させる酵素です。微生物由来トランスグルタミナーゼは、魚肉練り製品、肉加工品、乳製品、大豆加工品、小麦製品などでタンパク質ネットワーク形成を助ける食品加工技術として研究・利用されてきました<sup>[1]</sup>。

Enzymes.bioは本品を製造する研究所ではなく、食品・バイオテクノロジー分野向けに酵素製品をオンライン供給するサプライヤーです。本製品は1kg単位でオンライン直接販売され、注文時にCoAおよびSDSが併せて提供されます。

## トランスグルタミナーゼとは何か：食品タンパク質を「つなぐ」酵素

トランスグルタミナーゼは、タンパク質を分解するプロテアーゼとは反対に、食品中のタンパク質分子同士を結びつける方向に働く酵素です。主反応は、タンパク質中のグルタミン残基の $\gamma$ -カルボキサミド基とリジン残基の $\epsilon$ -アミノ基の間に、 $\epsilon$ -（ $\gamma$ -グルタミル）リジン結合を形成する反応であり、このイソペプチド結合は加熱、混合、切断などの加工ストレスに対して食品構造をより一体化させます<sup>[2]</sup>。

食品加工の視点では、この反応は「分子レベルの縫合」と捉えると理解しやすくなります。肉片、魚肉すり身、乳タンパク質ゲル、豆腐、植物性タンパク質ペーストのように、もともとタンパク質が連続相または分散相として存在する系では、TGがタンパク質間に橋を作ることで、崩れにくさ、噛み応え、弾力、離水抑制、切断時のまとまりが変化します<sup>[1]</sup>。

微生物由来トランスグルタミナーゼは、食品産業で特に広く扱われてきたタイプです。レビューでは、微生物TGが比較的扱いやすい食品酵素として、肉、魚、乳、大豆、小麦など多様な食品タンパク質の機能改質に応用されてきたことが整理されています<sup>[3]</sup>。

## 本製品の位置づけ：Enzymes.bioが供給する食品加工向けTG酵素

Enzymes.bioが取り扱うトランスグルタミナーゼ酵素粉末（CAS 80146-85-6）は、食品中のタンパク質架橋を目的とする加工用途に向けた製品です。Enzymes.bioは製造業者または研究機関として本品を提示するのではなく、B2B顧客がオンラインで購入できる酵素供給チャネルとして本品を掲載しています。

本品は、肉製品、魚介加工品、乳製品、植物性タンパク質製品、タンパク質ベースのゲル食品など、タンパク質の構造形成が品質に直結する食品で検討されます。製品ページではオンライン直接販売の形態が示されており、1kg単位で購入でき、CoAおよびSDSは注文時に併せて提供されます。

ここで重要なのは、TGを「風味を付ける添加素材」や「原料不足を補う増量素材」と混同しないことです。TGの主な役割は、食品中に存在するタンパク質が持つ反応部位を利用して、既存のタンパク質ネットワークを再編成することにあります。したがって効果は、タンパク質の種類、変性状態、水和、塩分、pH、油脂、多糖類、混合せん断、保持時間、加熱工程に強く依存します<sup>[2]</sup>。

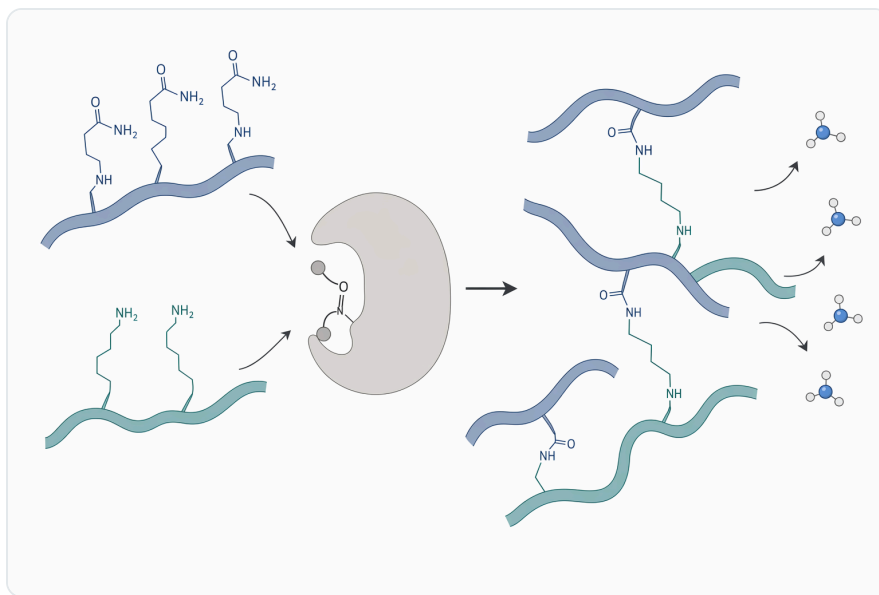


Figure 1. 트랜스글루타미나아제는 글루타민과 라이신 잔기 사이에 공유결합성  $\epsilon$ -( $\gamma$ -글루타밀) 라이신 교차결합을 형성해 식품 단백질 네트워크를 강화한다.

## 作用機序：グルタミン残基とリジン残基を架橋する反応

TG反応の中心は、タンパク質鎖上のグルタミン残基をアシル供与体、リジン残基をアシル受容体として進むアシル転移反応です。この結果として形成される $\epsilon$ -( $\gamma$ -グルタミル)リジン結合は、通常の新共有結合性相互作用より強固で、タンパク質分子を分子内または分子間で架橋します<sup>[4]</sup>。

この架橋は、食品の微細構造に直接影響します。タンパク質分子が十分に水和し、酵素が反応部位へ接近できる状態では、分子間架橋が増え、連続したネットワークが形成されやすくなります。その結果、ゲルの網目構造が緻密化し、自由水が保持されやすくなり、切断や加熱時の形状保持性が改善する可能性があります<sup>[1]</sup>。

一方、タンパク質が過度に凝集していたり、反応部位が立体的に隠れていたり、油脂や多糖類が酵素と基質の接触を妨げたりする場合、同じTGを加えても期待通りの結着が得られないことがあります。TGは配合全体の物性を一方的に変える「万能改質剤」ではなく、基質タンパク質の構造状態に依存して働く酵素です<sup>[2]</sup>。

カゼインを対象にした構造研究では、TG触媒による架橋がタンパク質間の結合様式を変え、食品タンパク質の高次構造に影響することが示されています。乳タンパク質、肉タンパク質、魚肉タンパク質、植物性タンパク質では一次構造も高次構造も異なるため、架橋の入り方と最終物性は食品マトリックスごとに変わります<sup>[5]</sup>。

## TG酵素と他の食品加工酵素の違い

食品加工では多くの酵素が使われますが、TGの特徴は「分解」ではなく「架橋」にあります。アミラーゼ、プロテアーゼ、リパーゼは基質を低分子化して粘度、溶解性、風味、消化性を変えることが多いのに対し、TGはタンパク質同士をつなぎ、食感や成形安定性を設計する方向に作用します<sup>[3]</sup>。

酵素タイプ	主な基質	主な反応方向	食品物性への典型的な影響	TGとの違い
トランスグルタミナーゼ	タンパク質中のグルタミン残基・リジン残基	タンパク質架橋	結着、ゲル強度、保水性、スライス性、弾力の調整	タンパク質を主に「つなぐ」
プロテアーゼ	タンパク質	ペプチド結合の加水分解	軟化、苦味生成、溶解性変化、熟成促進	タンパク質を「切る」
アミラーゼ	デンプン	グリコシド結合の加水分解	粘度低下、糖化、発酵性改善	炭水化物を分解する
リパーゼ	脂質	エステル結合の加水分解	香気形成、脂質改質	脂質に作用する

この違いは、製品設計の考え方にも直結します。たとえば、硬すぎる肉を柔らかくしたい場合はプロテアーゼ的なアプローチが検討される一方、細かい肉片を一体化させたい、すり身ゲルの弾力を高めたい、植物性タンパク質の崩れやすさを抑えたい場合はTGのような架橋酵素が候補になります。

[1]。

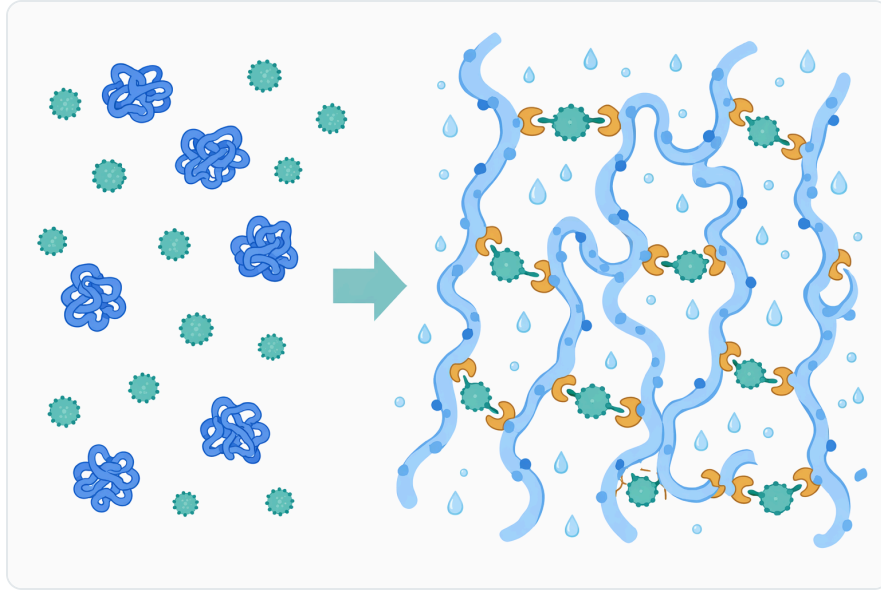


Figure 2. 수화, 가용화, 부분적 풀림은 단백질 부위를 더 노출시켜 트랜스글루타미나아제가 촉매하는 교차결합이 더 쉽게 일어나게 한다.

## 食品分野での主要用途

### 肉製品・再構成肉：結着、スライス性、歩留まりの安定化

肉加工では、TGはハム、ソーセージ、成形肉、鶏肉ロール、薄切り加工品、加熱済み肉製品などで、タンパク質同士の結着を補助する目的で検討されます。筋原線維タンパク質は塩溶化や混合によって反応可能な状態になりやすく、TG架橋によって肉片間の界面が一体化し、カット時の崩れやスライス割れが抑えられる可能性があります<sup>[2]</sup>。

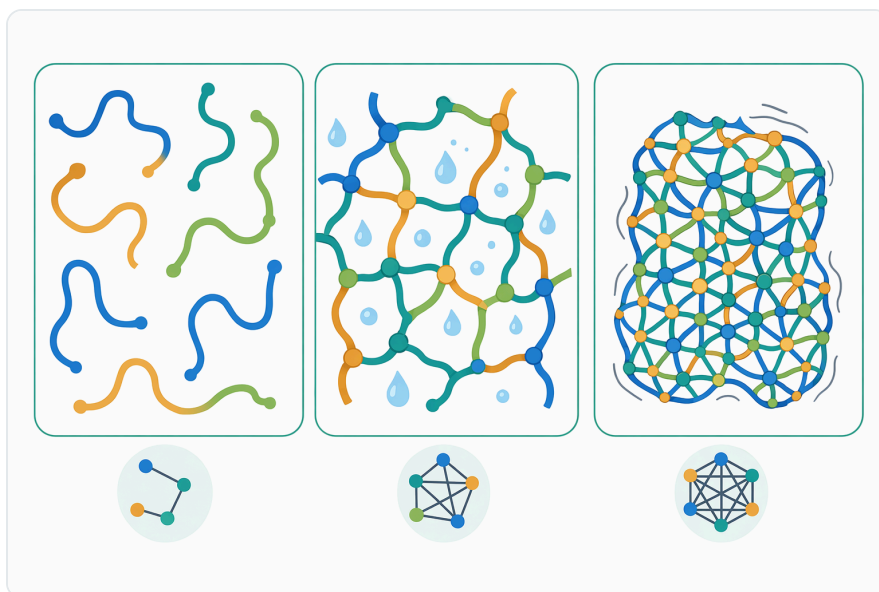
再構成肉では、複数の肉片やトリミング材を一体化するため、TGの効果は「表面を糊で貼る」ものではなく、タンパク質表面に露出した反応部位を分子間架橋でつなぐ現象です。肉片表面の水分、塩、混合状態、圧着、保持、加熱が適切に組み合わせることで、断面の一体感と噛み切りやすさが変化します<sup>[1]</sup>。

ただし、TGは原料鮮度や衛生状態を改善する酵素ではありません。肉片を結着する工程では、原料表面が製品内部へ入り込む構造になるため、温度管理、交差汚染防止、十分な加熱、表示対応などの食品安全設計がTGの物性設計と同時に必要になります<sup>[6]</sup>。

## 魚介・すり身製品：弾力とゲル構造の制御

魚肉すり身、かまぼこ、魚介成形品、模造カニ風製品、魚フィレ加工品では、タンパク質ゲルの弾力、白さ、保形性、離水、冷凍耐性が品質を左右します。微生物TGは魚肉練り製品で利用されてきた代表的な酵素であり、魚肉タンパク質のネットワーク形成を通じてゲル物性を調整できます<sup>[1]</sup>。

魚肉タンパク質は、魚種、鮮度、凍結履歴、塩すり条件、すり身の水分、添加塩、糖類、リン酸塩、加熱プロファイルによって反応性が変わります。TGはこれらの条件の中で、ミオシンなどの筋原線維タンパク質に架橋を導入し、ゲルの緻密化や破断特性の変化をもたらす加工要素として機能します<sup>[2]</sup>。



**Figure 3.** 교차결합 밀도가 적절한 중간 범위에 도달하면 식감이 개선되지만, 교차결합이 부족하거나 과도하면 제품이 약해지거나 지나치게 단단해질 수 있다.

実務上は、魚肉系では「弾力を上げる」だけでなく、「硬すぎない弾性」「なめらかな咀嚼感」「冷凍後の離水抑制」「均一な断面」といった複数の品質目標を同時に考える必要があります。TGによる架橋が過度に進むと、目的によっては硬さやゴム様食感が目立つ場合もあるため、配合と工程のバランスが重要です<sup>[3]</sup>。

## 乳製品：ヨーグルト、チーズ、デザートの保水性と口当たり

乳製品では、TGはカゼインおよび一部のホエイタンパク質に作用し、発酵乳、ヨーグルト、チーズ様食品、乳タンパク質デザート、タンパク質飲料の粘度、ゲル強度、離水、クリーミー感に影響します。レビューでは、微生物TGが乳製品分野で食品タンパク質の機能性を変える技術として利用されてきたことが示されています<sup>[2]</sup>。

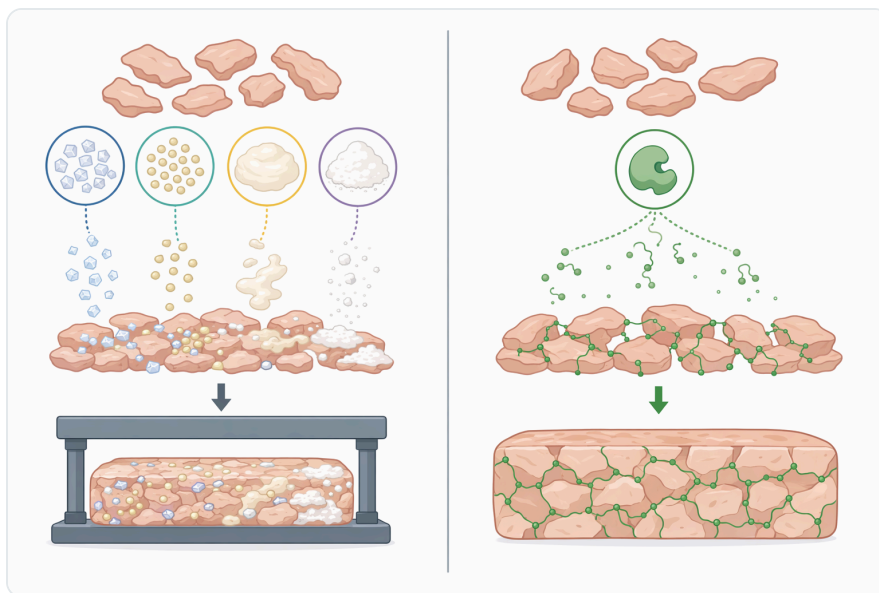
ヨーグルトのような酸性ゲルでは、発酵によるpH低下、カゼインミセルの凝集、熱変性ホエイタンパク質との相互作用がゲル構造を形成します。TG処理はこのネットワークに共有結合性の架橋を追加するため、スプーンですくったときの形状保持、離水、口中での厚み感が変化する可能性があります<sup>[1]</sup>。

乳タンパク質系で注意すべき点は、TG架橋が常に「なめらかさ」を増すとは限らないことです。カゼインとホエイの比率、前加熱、均質化、発酵菌の酸生成、脂肪球膜、多糖類の併用によって、同じTG処理でもゲルが緻密になる場合、粗くなる場合、粘度だけが上がる場合があります<sup>[5]</sup>。

## 植物性タンパク質・代替肉：崩れやすさと水分保持の改善

植物性タンパク質製品では、大豆、エンドウ、緑豆、黒豆、ピーナッツ、米、小麦由来タンパク質などが使われます。これらの素材は抽出・濃縮・乾燥・押出・加熱の履歴によって溶解性や反応部位の露出が大きく変わるため、TGによる架橋効果も動物性タンパク質とは異なる挙動を示します<sup>[7]</sup>。

黒豆タンパク質分離物を対象とした研究では、加熱処理とTG架橋の組み合わせがタンパク質構造と乳化性能に影響することが報告されています。これは、TGが単にゲルを硬くするだけでなく、植物性タンパク質の界面特性や分散安定性にも関与し得ることを示します<sup>[8]</sup>。



**Figure 4.** 트랜스글루타미나아제는 식품 자체의 단백질을 공유결합으로 연결해 구조를 형성한다는 점에서 열, 하이드로콜로이드, 전분, 프로테아제와 다르다.

緑豆タンパク質分離物では、TG処理がゲル化と機能性タンパク質の挙動に影響することが研究されています。緑豆は代替卵、麺、植物性ゲル、代替肉結着材などで注目される原料であり、TGは植物性食品の弾力と形状保持を調整する酵素技術の一つとして位置づけられます<sup>[9]</sup>。

豆腐を対象にした研究では、微生物TG架橋が品質特性と潜在的アレルギー性に影響する可能性が検討されています。大豆タンパク質は主要アレルギーを含むため、TGによる構造変化が消化性、抗原性、抽出性にどう影響するかは、物性改善と同時に評価されるべきテーマです<sup>[10]</sup>。

## タンパク質ベースのフィルム・ゲル・エマルション食品

TGの用途は、肉や魚肉の結着に限定されません。タンパク質ベースの可食フィルム、包装フィルム、エマルションゲル、テクスチャー調整食品では、架橋密度が膜強度、透湿性、油脂保持、酸化安定性、咀嚼性に影響します<sup>[11]</sup>。

キヌアタンパク質とキトサンを用いた可食フィルムの研究では、TG架橋がフィルムの物理化学的特性に影響することが示されています。これは、TGが食品の「塊を結着する」だけでなく、薄膜、ゲル、複合バイオポリマー構造の設計にも使われることを示す例です<sup>[12]</sup>。

卵白アルブミンと亜麻仁油のエマルションゲルを対象にした研究では、TG架橋がゲル特性、微細構造、酸化安定性に影響することが報告されています。タンパク質ネットワークが油滴を保持する構造では、TG架橋によって油脂相の移動や酸化反応への曝露が変わる可能性があります<sup>[13]</sup>。

## 用途別に見た期待される機能

TGの効果は「結着」だけでは表現しきれません。食品カテゴリごとに、結着、弾力、ゲル強度、保水性、スライス性、乳化安定性、膜強度など、評価すべき品質項目が異なります<sup>[3]</sup>。

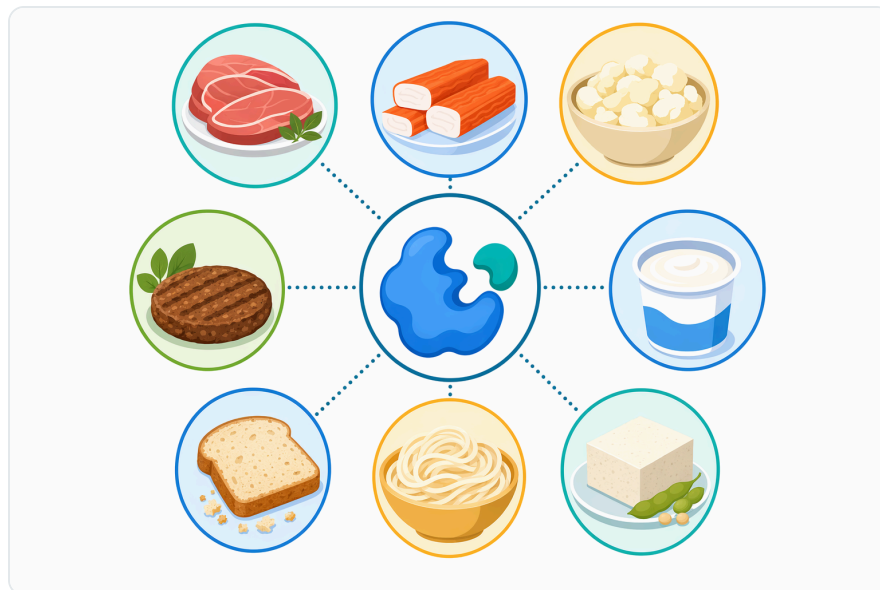


Figure 5. 주요 식품 응용 분야에는 육류 재구성, 수리미 겔 강화, 유제품 겔 조절, 식물성 단백질 결착, 밀가루 반죽 조정, 에멀션, 식용 필름이 포함된다.

食品カテゴリ	主なタンパク質基質	TGで狙われる機能	実務上の見方
肉製品・成形肉	筋原線維タンパク質、筋形質タンパク質	肉片結着、スライス性、加熱後のまとまり	混合、塩溶化、圧着、加熱と一体で設計
魚肉すり身・魚介加工	ミオシン、アクチンなど	弾力、ゲル強度、離水抑制	鮮度、凍結履歴、塩ずり条件の影響が大きい
乳製品	カゼイン、ホエイタンパク質	粘度、保水性、酸性ゲルの安定化	熱処理、発酵、均質化との相互作用が重要
植物性タンパク質	大豆、豆類、穀物、ナッツ由来タンパク質	崩れにくさ、弾力、保水、乳化安定性	抽出履歴、変性状態、粒子性で反応性が変わる
可食フィルム・エマルジョンゲル	卵白、豆類、キヌアなどのタンパク質	膜強度、油滴保持、微細構造制御	多糖類、油脂、乾燥条件との複合設計が必要

この表が示すように、TGの価値は「どの製品にも同じ硬さを与える」ことではなく、食品マトリックスごとにタンパク質ネットワークの形成を制御できる点にあります。特にB2B用途では、最終製品の食感目標を先に定義し、その目標に対してTG処理が過不足なく働くよう配合と工程を合わせる必要があります<sup>[1]</sup>。

## 工程設計で重要になる要因

### タンパク質の水和と酵素接触

TG反応では、酵素がタンパク質表面または内部の反応部位へアクセスできることが前提です。乾いた粉体同士が不均一に接触しているだけでは反応は限定的であり、肉、魚肉、乳、植物性タンパク質のいずれでも、水和、混合、分散、保持によって酵素と基質の接触機会を確保することが重要になります<sup>[2]</sup>。

植物性タンパク質では、粉末の分散性や粒子の水和速度が特に大きな要因です。ピーナッツの主要タンパク質であるアラキシンとコナラキンを対象とした研究では、微細化処理とTG架橋がタンパク質のコンフォメーションおよび機能特性に影響することが示されており、前処理によるタンパク質構造の変化がTG反応性を左右することが分かります<sup>[7]</sup>。

### 混合・保持・加熱の連続性

TGを使う工程では、混合で均一分散させ、保持で架橋を進め、加熱で最終構造を固定するという流れが一般的に考えられます。加熱は酵素反応を停止させるだけでなく、タンパク質の熱変性、ゲル化、殺菌、形状固定を同時に担うため、TG処理と熱処理は切り離して考えにくい工程です<sup>[1]</sup>。

肉や魚肉では、混合時のせん断がタンパク質抽出を進める一方で、過度な混合は脂肪分離や組織破壊を招く場合があります。乳製品では、発酵前処理か発酵中処理かによってゲル形成の順序が変わり、植物性タンパク質では加熱変性の前後で反応部位の露出が変化します<sup>[3]</sup>。

## 塩分、pH、油脂、多糖類との相互作用

TGはタンパク質に作用する酵素ですが、食品マトリックス中の塩分、pH、油脂、多糖類、糖、乳化剤は反応環境を変えます。塩は筋原線維タンパク質の抽出や溶解に関与し、pHはタンパク質の荷電状態と凝集性を変え、油脂や多糖類は酵素と基質の接触やゲルの水分保持に影響します<sup>[2]</sup>。

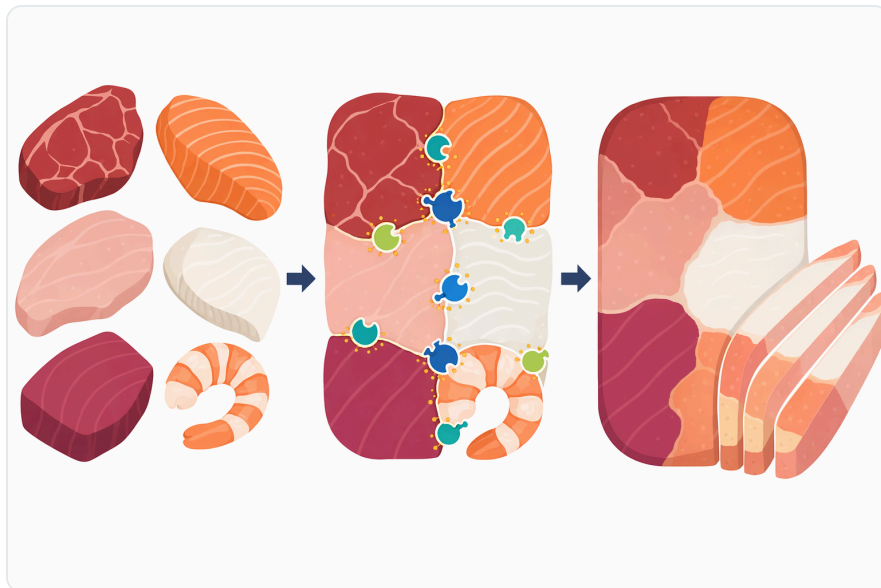


Figure 6. 육류, 가금류, 해산물, 수리미 시스템에서는 노출된 근육 단백질 사이의 교차결합이 결착력, 슬라이스성, 젤 탄성을 향상시킨다.

たとえば、エマルションゲルではタンパク質ネットワークが油滴を包み込むため、TG架橋は油滴周囲の界面膜や連続相の強度に影響します。卵白アルブミンと亜麻仁油のエマルションゲル研究では、TG処理が微細構造と酸化安定性に関与しており、油脂を含む食品では水相ゲルだけでなく油滴保持の観点も必要です<sup>[13]</sup>。

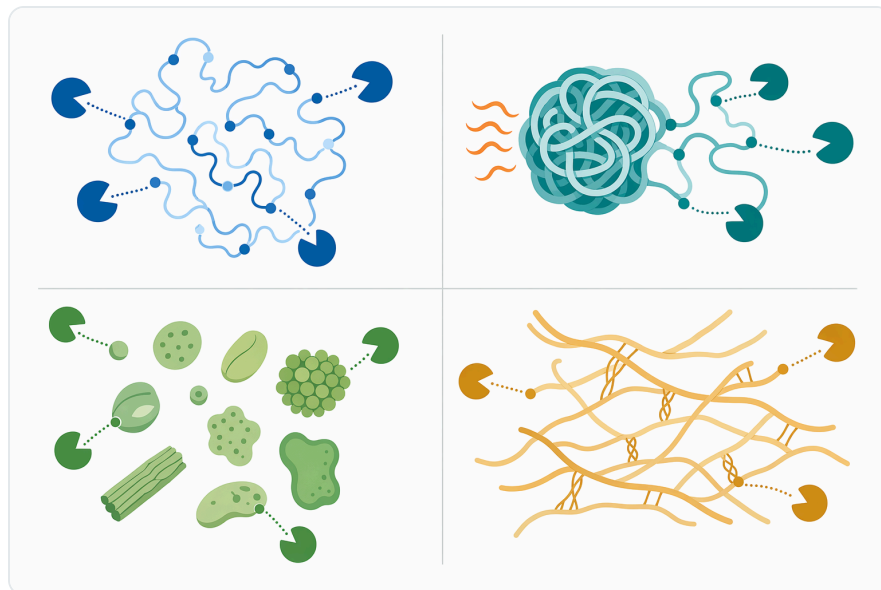
## 安全性、アレルギー性、表示に関する科学的な見方

TGは食品産業で長く使われてきた酵素ですが、安全性を語る際には「広く使用されている」と「すべての用途で懸念がない」ことを混同しないことが重要です。酵素そのもの、酵素で架橋されたタンパク質、最終食品中での残存活性、加熱工程、対象消費者、表示制度は分けて考える必要があります<sup>[6]</sup>。

酵素的架橋と食品アレルギー性に関するレビューでは、TG処理がタンパク質の構造、消化性、抗原エпитープの露出または隠蔽に影響し得ることが整理されています。つまり、TG架橋はアレルギー性を必ず高める、または必ず下げるといった単純な現象ではなく、タンパク質の種類と処理条件によって結果が異なります<sup>[6]</sup>。

異種タンパク質ポリマーを対象とした近年の研究でも、TG触媒架橋がタンパク質のコンフォメーションと潜在のアレルギー性に影響する可能性が検討されています。特に大豆、乳、卵、小麦、ナッツ、魚介などアレルギー表示に関わる食品では、TGによる物性改良とアレルギー管理を別々の問題として扱わず、同じ製品設計の中で整理する必要があります<sup>[14]</sup>。

再構成肉や成形魚介では、微生物安全性も重要です。TGは食品中のタンパク質を結着しますが、原料由来の微生物を不活化する目的の酵素ではありません。肉片や魚片を一体化する工程では、表面が内部に取り込まれる構造になるため、衛生的な原料取扱い、冷蔵管理、加熱条件、交差汚染防止が物性設計と同じくらい重要です<sup>[6]</sup>。



**Figure 7.** 반응 부위의 접근성은 단백질 구조, 가공 이력, 용해도, 수화 정도에 따라 달라지므로 단백질 원료마다 반응이 다르게 나타난다.

表示については、国・地域、製品カテゴリ、酵素の扱い、加工助剤の解釈、最終製品中での残存、使用目的によって判断が変わります。本稿では規制判断を代替するものではありませんが、B2B食品用途では、TGを使った事実、対象原料のアレルギー、再構成食品としての誤認防止、消費者受容を含めて検討することが現実的です<sup>[3]</sup>。

## TGが向いている食品設計と向いていない食品設計

---

TGが向いているのは、反応可能なタンパク質が十分に存在し、そのタンパク質が水和・分散し、酵素と接触できる食品です。肉や魚肉のように筋原線維タンパク質がネットワークを作る食品、乳タンパク質が酸性または熱ゲルを形成する食品、植物性タンパク質を押出・加熱・混合で構造化する食品では、TGの架橋作用が品質設計に関与しやすくなります<sup>[1]</sup>。

一方、低タンパク質食品、タンパク質が強く変性・不溶化して反応部位にアクセスしにくい食品、油脂や糖質が主体でタンパク質ネットワークが品質の主因ではない食品では、TGを加えても大きな効果が得られない場合があります。また、プロテアーゼ活性が高い原料や、強い酸性・高温工程が先に来る配合では、TGが十分に働く前に基質や酵素環境が変わることがあります<sup>[2]</sup>。

植物性代替肉では、TGは繊維化そのものを単独で作る酵素ではありません。押出、せん断、冷却、油脂分散、多糖類、デンプン、メチルセルロースなどの構造形成技術と組み合わせて、崩れにくさや水分保持を補助する位置づけで考える方が妥当です<sup>[9]</sup>。

## Enzymes.bioから購入する際の実務的な位置づけ

---

Enzymes.bioは、トランスグルタミナーゼ酵素粉末を1kg単位でオンライン直接販売するサプライヤーです。製品はオンライン上で購入でき、注文時にCoAおよびSDSが併せて提供されるため、食品事業者は社内の受入管理、安全管理、文書保管に活用できます。

本品を用いる際には、製造者のような処方保証や工程保証ではなく、食品事業者側の製品設計に組み込む原料酵素として扱うことが重要です。TGの効果は、肉、魚、乳、植物性タンパク質といった基質の種類だけでなく、原料ロット、前処理、混合、保持、加熱、冷却、包装後の保存条件にも左右されます<sup>[3]</sup>。

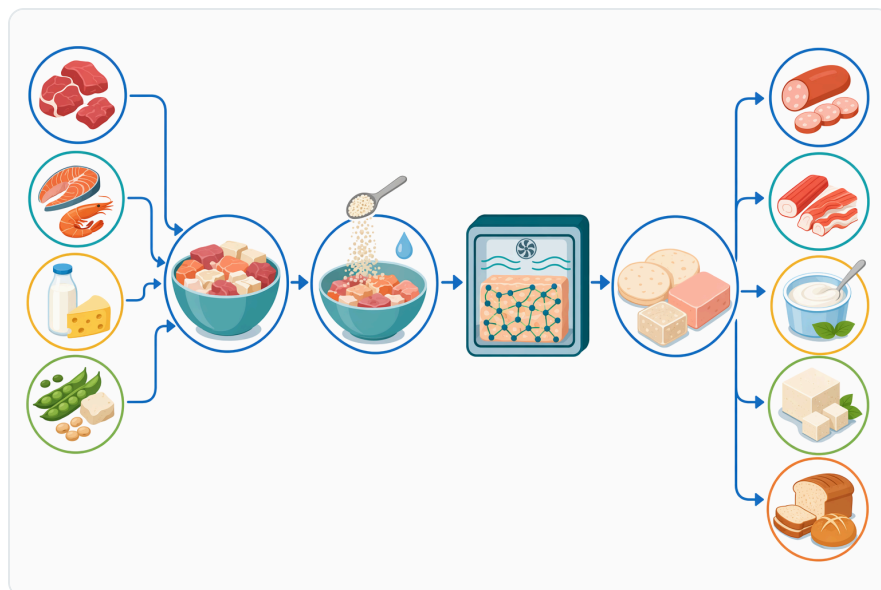


Figure 8. 효과적인 사용을 위해서는 수화, 효소 분산, 단백질 추출 또는 폴림, 유지·성형 시간, 최종 가열 또는 안정화 과정을 조율해야 한다.

Enzymes.bioは研究機関として試験結果を提供する立場ではなく、酵素製品を供給する立場です。そのため、本稿は特定製品の性能値を保証する文書ではなく、公開文献に基づいてTGの作用機序、食品用途、工程上の考え方、安全性・表示上の論点を整理する技術的な読み物として位置づけられます。

## まとめ：TG酵素はタンパク質構造を設計する加工ツール

トランスグルタミナーゼ酵素粉末（CAS 80146-85-6）は、食品タンパク質のグルタミン残基とリジン残基を架橋し、タンパク質ネットワークの形成を助ける酵素です。肉、魚介、乳、植物性タンパク質、可食フィルム、エマルジョンゲルなどで、結着性、ゲル強度、保水性、スライス性、微細構造を調整する目的で研究・利用されてきました<sup>[1]</sup>。

その価値は、単に食品を硬くすることではなく、原料タンパク質が持つ構造形成能を引き出し、加工中および喫食時の物性を設計しやすくする点にあります。特に、再構成肉、魚肉すり身、発酵乳、植物性代替肉のように、タンパク質ネットワークが品質を決める食品では、TGは配合・工程設計の中核的な選択肢になり得ます<sup>[2]</sup>。

一方で、TGは衛生不良を補うものでも、アレルギー問題を消すものでも、すべてのタンパク質食品に同じ効果を与えるものでもありません。アレルギー性、消化性、表示、加熱、微生物安全性、消費者受容を含め、食品カテゴリごとの設計が必要です<sup>[6]</sup>。

Enzymes.bioは、本品を1kg単位でオンライン直接販売する酵素サプライヤーであり、注文時にはCoAおよびSDSが提供されます。TGを適切に活用するには、酵素そのものだけでなく、原料タンパク質、混合、保持、加熱、最終食感を一体として考えることが重要です。

## Food Grade Transglutaminase Enzyme Powder 130U/G - Tg For Food Products Cas 80146-85-6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。

**Food Grade Transglutaminase Enzyme Powder 130U/G - Tg For Food Products Cas 80146-85-6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. Kieliszek, M., & Misiewicz, A. (2013). Microbial transglutaminase and its application in the food industry. A review. *Folia Microbiologica (Prague)*, 59, 241 - 250.
2. Zhu, Y., Rinzema, A., Tramper, J., & Bol, J. (2004). Microbial transglutaminase—a review of its production and application in food processing. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 44, 277-282.
3. Kolotylo, V., Piwowarek, K., & Kieliszek, M. (2023). Microbiological transglutaminase: Biotechnological application in the food industry. *Open Life Sciences*, 18.
4. Wang, H., Zhang, Y., Yuan, Z., Zou, X., Ji, Y., Hou, J., Zhang, J., ... et al. (2022). Crosslinking Mechanism on a Novel Bacillus cereus Transglutaminase-Mediated Conjugation of Food Proteins. *Foods*, 11.
5. Lilla, S., Mamone, G., Nicolai, M. A., Chianese, L., Picariello, G., Caira, S., & Addeo, F. (2012). Structural Characterization of Transglutaminase-Catalyzed Casein Cross- Linking. *Journal of Chromatography & Separation Techniques*, 3, 1-9.
6. Ahmed, I., Chen, H., Li, J., Wang, B., Li, Z., & Huang, G. (2021). Enzymatic crosslinking and food allergenicity: A comprehensive review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*.
7. Hu, X., Amakye, W., Pei-He, Wang, M., & Ren, J. (2021). Effects of microfluidization and transglutaminase cross-linking on the conformations and functional properties of arachin and conarachin in peanut. *LWT*.
8. San, Y., Xing, Y., Li, B., & Zheng, L. (2024). Effect of transglutaminase cross-linking on the structure and emulsification performance of heated black bean protein isolate. *The Journal of the Science of Food*

and Agriculture.

9. Vijayan, P., Song, Z., Toy, J. Y. H., Yu, L., & Huang, D. (2024). Effect of transglutaminase on gelation and functional proteins of mung bean protein isolate. *Food Chemistry*, 454, 139590 .
10. Zhu, J., Deng, H., Yang, A., Wu, Z., Li, X., Tong, P., & Chen, H. (2019). Effect of microbial transglutaminase cross-linking on the quality characteristics and potential allergenicity of tofu. *Food & Function*.
11. Zhang, W., Hedayati, S., Tarahi, M., Karaça, A. C., Hadidi, M., Assadpour, E., & Jafari, S. (2023). Advances in transglutaminase cross-linked protein-based food packaging films; a review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 127399 .
12. Escamilla-García, M., Delgado-Sánchez, L., Ríos-Romo, R. A., García-Almendárez, B., Calderón - Domínguez, G., Méndez - Méndez, J., Amaro-Reyes, A., ... et al. (2019). Effect of Transglutaminase Cross-Linking in Protein Isolates from a Mixture of Two Quinoa Varieties with Chitosan on the Physicochemical Properties of Edible Films. *Coatings*.
13. Tian, Y., Wang, S., Lv, J., Ma, M., Jin, Y., & Fu, X. (2024). Transglutaminase cross-linking ovalbumin-flaxseed oil emulsion gels: Properties, microstructure, and performance in oxidative stability. *Food Chemistry*, 448, 138988 .
14. Xing, G., Liu, J., Wang, R., & Wu, Y. (2024). Assessment of transglutaminase catalyzed cross-linking on the potential allergenicity and conformation of heterologous protein polymers. *Journal of Food Science*.

## 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](mailto: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。