

# Transglutaminase w sieciowaniu białek: enzym do poprawy tekstury, wiązania i retencji wody w żywności

Zespół badawczy Enzymes.bio · Wellington, Nowa Zelandia · June 19, 2026

Transglutaminase to enzym wykorzystywany w przetwórstwie żywności do tworzenia trwałych połączeń między białkami, dzięki czemu matryca produktu może stać się bardziej spójna, elastyczna i stabilna. W praktyce technologicznej stosuje się ją m.in. w produktach mięsnych, rybnych, mlecznych i roślinnych, gdy celem jest poprawa wiązania, krojliwości, tekstury lub ograniczenie wycieku fazy wodnej <sup>[1]</sup>. Enzymes.bio udostępnia transglutaminase jako produkt sprzedawany online w jednostkach 1 kg; firma działa jako dostawca, a nie producent ani laboratorium .

## Czym jest transglutaminase i dlaczego jest ważna w przetwórstwie białek?

Transglutaminase, często oznaczana skrótem TG lub mTG w przypadku form mikrobiologicznych, należy do enzymów modyfikujących białka przez tworzenie wiązań krzyżowych. Z punktu widzenia technologa żywności najważniejsze jest to, że enzym nie zagęszcza produktu mechanicznie i nie działa jak zewnętrzny „klej”, lecz katalizuje reakcję pomiędzy grupami funkcyjnymi obecnymi w białkach surowca. Efektem może być powstanie bardziej zwartej sieci białkowej, która inaczej zachowuje się podczas mieszania, formowania, obróbki cieplnej, chłodzenia, krojenia i pakowania <sup>[1]</sup>.

Mechanizm TG opiera się głównie na reakcji między resztami glutaminy i grupami aminowymi, w tym grupami lizyny, prowadząc do powstawania wiązań izopeptydowych odpornych na wiele typowych warunków przetwarzania. W uproszczeniu enzym tworzy „mostki” między sąsiednimi łańcuchami białkowymi albo między fragmentami tego samego białka. Takie połączenia mogą wzmacniać żele, poprawiać integralność produktów restrukturyzowanych oraz ograniczać rozpad struktury w systemach, w których białko pełni funkcję nośnika tekstury <sup>[2]</sup>.

Znaczenie transglutaminase wynika z tego, że wiele kategorii żywności jest w praktyce układami białkowo-wodnymi: mięso zawiera białka miofibrylarne, ryby i surimi opierają teksturę na białkach mięśniowych, nabiał wykorzystuje właściwości kazein i białek serwatkowych, a analogi mięsa zależą od

funkcjonalności białek sojowych, grochowych, pszennych lub innych roślinnych. Jeżeli białka są dostępne dla enzymu i prawidłowo rozmieszczone w formulacji, TG może wzmacniać ich udział strukturotwórczy zamiast jedynie maskować słabą teksturę dodatkami zagęszczającymi [1].

## Mechanizm działania: enzymatyczne sieciowanie zamiast zwykłego „sklejania”

Najważniejszą reakcją technologiczną transglutaminase jest tworzenie wiązania między grupą  $\gamma$ -karboksamidową reszty glutaminy a pierwszorzędową grupą aminową, często pochodzącą z reszty lizyny w innym białku. W wyniku tego procesu powstaje stabilne wiązanie  $\epsilon$ -( $\gamma$ -glutamilo)lizynowe, które łączy dwa fragmenty białkowe. W warunkach żywnościowych oznacza to, że pojedyncze białka lub cząstki surowca mogą zacząć zachowywać się jak bardziej zintegrowana matryca [2].

Warto podkreślić, że TG nie tworzy nowej fazy pomiędzy składnikami produktu. Jej działanie zależy od obecności odpowiednich białek, ich uwodnienia, stopnia rozwinięcia struktury oraz fizycznego kontaktu enzymu z substratem. Jeżeli białka są zbyt mało dostępne, ukryte w nierozwiniętych strukturach globularnych, nierównomiernie rozproszone albo oddzielone fazą tłuszczową, efekt sieciowania może być ograniczony mimo obecności enzymu [1].

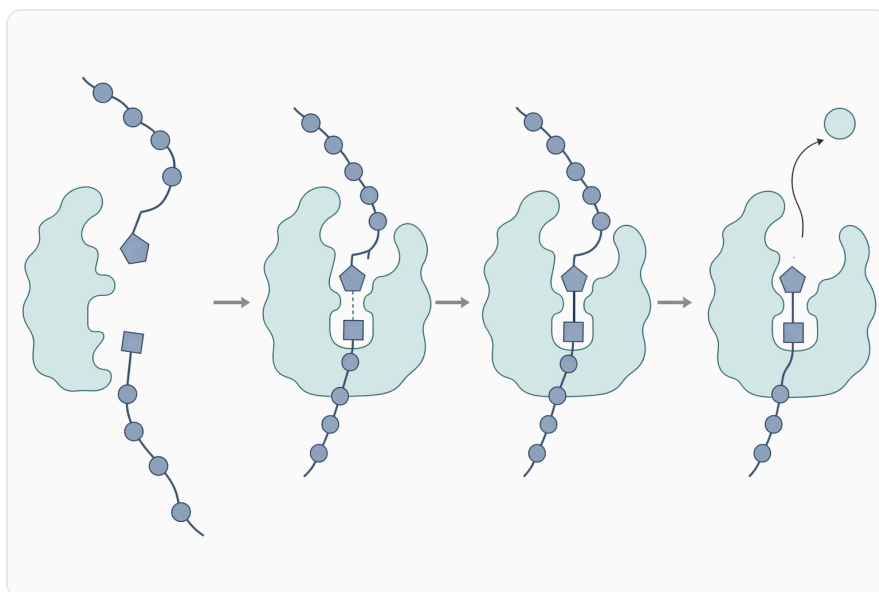


Figure 1. 트랜스글루타미나아제는 단백질에 결합된 글루타민 잔기와 리신 잔기 같은 아민 공여체 사이에 공유 가교 결합을 형성하도록 촉매합니다.

Transglutaminase może również uczestniczyć w reakcjach deamidacji, gdy zamiast odpowiedniej grupy aminowej akceptorem jest woda. Z perspektywy przetwórstwa żywności najczęściej pożądanym efektem jest jednak sieciowanie, ponieważ to ono bezpośrednio przekłada się na spójność żelu,

integralność kawałków, odporność na krojenie i ograniczenie wycieku. Ostateczny wynik zależy od równowagi pomiędzy dostępnością grup reaktywnych, warunkami procesu i charakterystyką białek użytych w recepturze <sup>[2]</sup>.

## Najważniejsze efekty technologiczne w produktach białkowych

---

Właściwie zastosowana transglutaminase może poprawiać teksturę przez zwiększenie liczby połączeń wewnątrz sieci białkowej. W produktach, które mają być sprężyste, zwarte lub krojone w plastry, oznacza to mniejszą podatność na pękanie, kruszenie lub rozwarstwianie. W żelach białkowych może to dawać bardziej jednorodną strukturę, a w produktach restrukturyzowanych — lepsze połączenie fragmentów surowca w jeden element <sup>[1]</sup>.

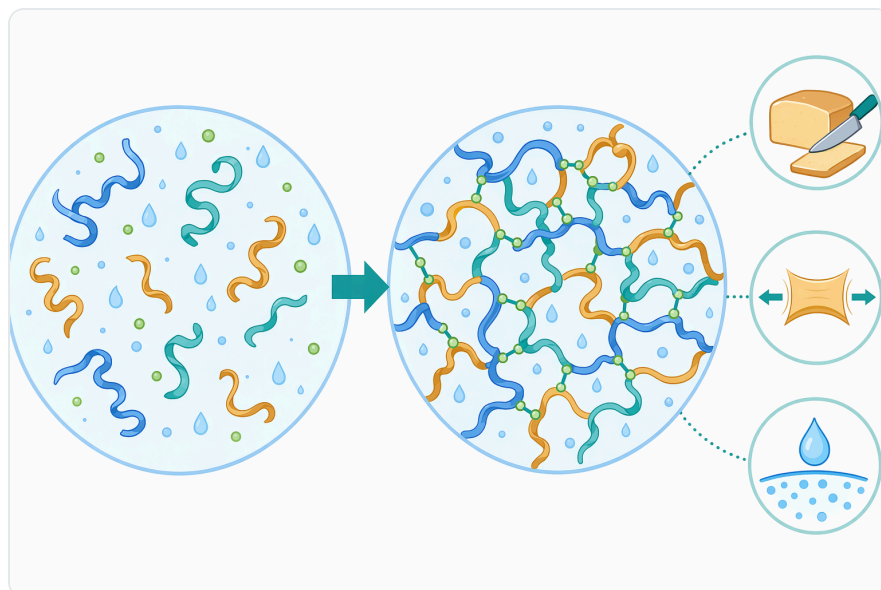
Drugim istotnym efektem jest poprawa retencji wody. Silniejsza i bardziej uporządkowana matryca białkowa może zatrzymywać wodę oraz soki technologiczne skuteczniej niż układ o słabym wiązaniu białko-białko. Nie oznacza to, że enzym „wiąże wodę” w sposób bezpośredni jak hydrokoloid; raczej wzmacnia strukturę, która fizycznie ogranicza migrację wody i wyciek podczas obróbki, chłodzenia lub przechowywania <sup>[1]</sup>.

Trzecim efektem jest większa powtarzalność cech mechanicznych produktu, szczególnie tam, gdzie surowiec jest rozdrobniony, mieszany lub formowany. W praktyce dotyczy to porcji restrukturyzowanych, szynek, wyrobów rybnych, surimi, serów, jogurtów, deserów białkowych i analogów mięsa. TG nie usuwa zmienności surowca, ale może zmniejszać jej wpływ na końcową spójność produktu, jeśli receptura i proces są dobrze zaprojektowane .

## Gdzie transglutaminase sprawdza się najlepiej?

---

Transglutaminase jest najbardziej użyteczna w produktach, w których białko jest aktywnym elementem struktury, a nie tylko składnikiem odżywczym. Dotyczy to zwłaszcza systemów o wysokim udziale białek mięśniowych, mlecznych lub roślinnych, które mają tworzyć żel, emulsję, strukturę włóknistą albo zwartą masę do krojenia. Enzymes.bio opisuje zastosowanie TG w mięsie, owocach morza, nabiale, napojach białkowych i białkach roślinnych, czyli dokładnie w kategoriach, gdzie kontrola matrycy białkowej ma znaczenie technologiczne .



**Figure 2.** 단백질 가교 결합은 느슨한 단백질 집합체를 서로 더 잘 결합된 식품 매트릭스로 바꾸어, 물리적 특성이 달라지게 합니다.

## Produkty mięsne i restrukturyzowane

W przetwórstwie mięsa transglutaminase stosuje się tam, gdzie kluczowe są wiązanie kawałków, stabilność plastra, ograniczenie ubytków i jednolita tekstura. Białka miofibrylarne, zwłaszcza po odpowiednim uwodnieniu i mechanicznym rozproszczeniu, mogą tworzyć sieć podatną na wzmocnienie enzymatyczne. Dlatego TG jest użyteczna w produktach takich jak szynki formowane, rolady, wyroby drobiowe, porcje z mniejszych elementów mięsa czy wybrane kiełbasy o kontrolowanej strukturze [1].

W takich zastosowaniach enzym działa najlepiej, gdy powierzchnie białkowe mają ze sobą kontakt, a preparat jest równomiernie rozmieszczony w masie. Jeżeli kawałki mięsa są zbyt suche, zbyt słabo wymieszane albo odseparowane warstwą tłuszczu, potencjał tworzenia połączeń białkowych spada. Z drugiej strony nadmierne sieciowanie może prowadzić do tekstury zbyt twardej lub gumowatej, dlatego TG należy traktować jako narzędzie do regulacji struktury, a nie automatyczny sposób na poprawę każdego produktu [2].

## Ryby, owoce morza i surimi

W produktach rybnych i surimi transglutaminase wspiera stabilizację żelu białkowego oraz utrzymanie kształtu porcji. Surimi jest szczególnie dobrym przykładem systemu, w którym tekstura zależy od zachowania białek mięśniowych po rozdrobnieniu, płukaniu, mieszaniu i ogrzewaniu. W takich warunkach enzymatyczne sieciowanie może wzmocniać sprężystość i ograniczać rozpad struktury podczas obróbki lub przygotowania kulinarnego [1].

W filetach formowanych lub produktach z owoców morza celem nie jest ukrycie charakteru surowca, lecz poprawa integralności struktury tam, gdzie naturalna spójność została osłabiona przez cięcie, rozdrobnienie lub obróbkę mechaniczną. TG może wspierać kontrolę porcji, ograniczać pękanie i poprawiać stabilność podczas pakowania. Efekt zależy jednak od jakości białek rybnych, zawartości wody, temperatury procesu i czasu dostępnego na reakcję przed utwaleniem produktu .

### Nabiał: jogurty, sery i napoje białkowe

W nabiale transglutaminase jest używana do modyfikacji sieci kazeinowej i białek serwatkowych, co może wpływać na lepkość, stabilność żelu i ograniczenie synerезy. W jogurtach oznacza to potencjalnie bardziej zwartą strukturę i mniejszy wyciek serwatki, a w wybranych serach — zmianę elastyczności, krojliwości lub retencji wilgoci. TG może być szczególnie interesująca w produktach o obniżonej zawartości tłuszczu, gdzie utrzymanie pełnej, stabilnej tekstury bywa trudniejsze <sup>[1]</sup>.

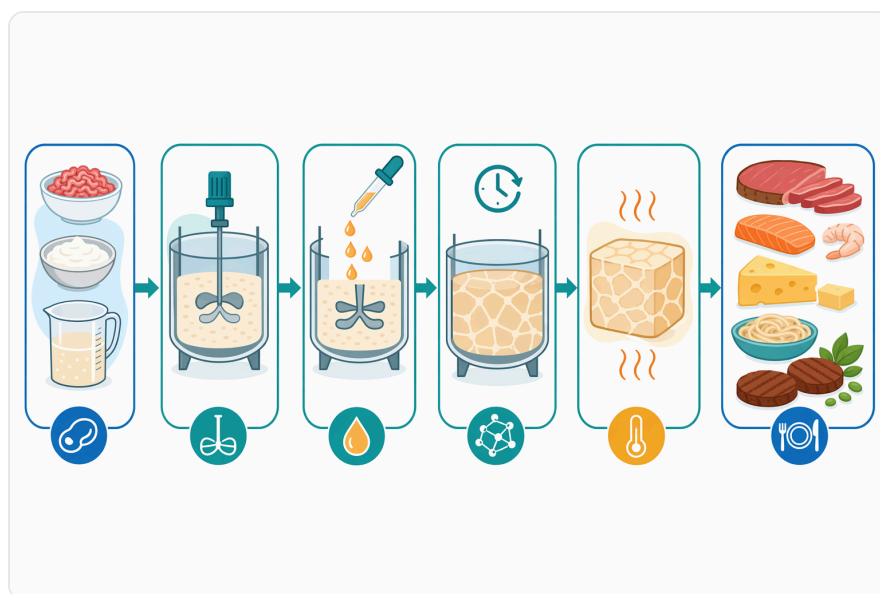


Figure 3. 고기 결착에는 노출된 살코기 단백질 표면, 효소의 고른 분포, 밀착, 반응 시간, 그리고 제품에 맞는 후속 처리나 조리가 필요합니다.

Białka mleczne różnią się dostępnością dla enzymu. Kazeiny są bardziej elastyczne i zwykle łatwiej uczestniczą w tworzeniu sieci, natomiast białka serwatkowe mogą wymagać odpowiednich warunków procesu, aby ich reaktywne fragmenty były dostępne. Dlatego w nabiale rezultat nie zależy wyłącznie od obecności TG, ale również od wcześniejszej obróbki cieplnej mleka, homogenizacji, kwasowości, składu białkowego i kolejności etapów technologicznych <sup>[2]</sup>.

## Białka roślinne i analogi mięsa

W produktach roślinnych transglutaminase może pomagać w tworzeniu bardziej spójnej matrycy z białek soi, grochu, pszenicy lub mieszanek kilku źródeł białka. Wyzwanie polega na tym, że białka roślinne często są globularne, mniej jednorodne, różnie rozpuszczalne i silnie zależne od wcześniejszego przetworzenia. Enzym może poprawiać wiązanie, ale tylko wtedy, gdy grupy reaktywne w białkach są dostępne i gdy układ zawiera wystarczającą ilość wody oraz energii mieszania do równomiernego rozprowadzenia preparatu <sup>[1]</sup>.

W analogach mięsa TG może współpracować z teksturoowaniem, ogrzewaniem, chłodzeniem i innymi składnikami funkcjonalnymi, ale nie zastępuje projektowania struktury od podstaw. Sama obecność enzymu nie utworzy włóknistej tekstury, jeżeli białko nie zostało odpowiednio nawodnione, zorganizowane i utrwalone. Najlepsze efekty uzyskuje się, gdy enzym jest elementem szerszej strategii obejmującej dobór białek, poziom wody, tłuszczu, soli, pH oraz warunki ścinania i formowania .

## Porównanie zastosowań transglutaminase w głównych kategoriach żywności

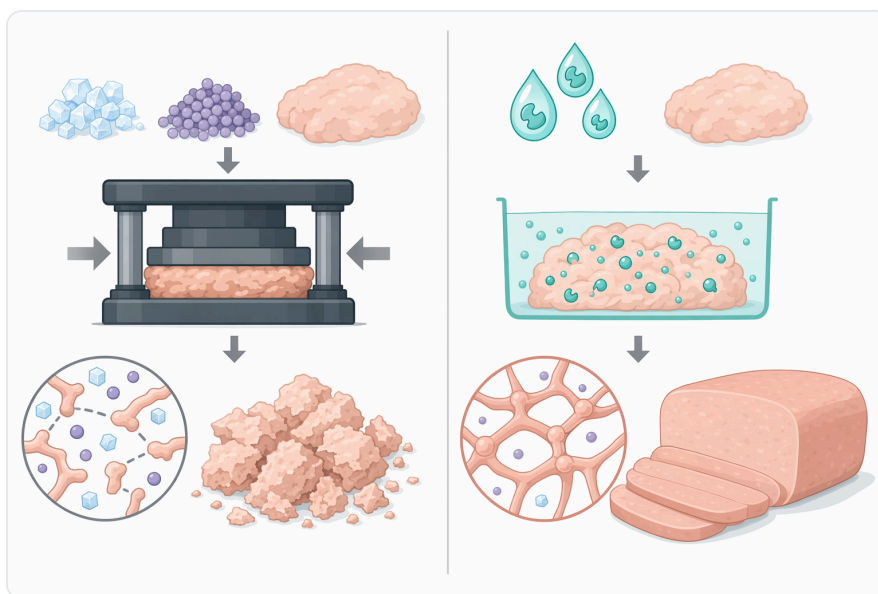
Kategoria produktu	Główne białka strukturotwórcze	Typowy cel użycia TG	Czynniki krytyczne w procesie	Możliwe ograniczenia
Mięso i drób	Białka miofibrylarne	Wiązanie kawałków, lepsza krojliwość, ograniczenie rozwarstwiania	Kontakt powierzchni białkowych, nawodnienie, równomierne mieszanie, czas reakcji	Zbyt twarda tekstura przy nadmiernym sieciowaniu; słaby efekt przy niskiej dostępności białka
Ryby i surimi	Białka mięśniowe ryb	Sprężystość żelu, utrzymanie kształtu, stabilność porcji	Jakość surowca, temperatura, etap dodania, kontrola obróbki cieplnej	Wrażliwość białek rybnych na wcześniejsze uszkodzenie lub denaturację
Nabiał	Kazeiny, białka serwatkowe	Stabilizacja żelu, ograniczenie synerезy, poprawa lepkości	Skład mleka, obróbka cieplna, pH, fermentacja lub koagulacja	Różna reaktywność frakcji białkowych; ryzyko zmiany profilu sensorycznego
Białka roślinne	Białka soi, grochu, pszenicy i mieszanek	Spójniejsza matryca, poprawa tekstury analogów mięsa	Hydratacja, rozwinięcie białek, ścinanie, poziom soli i tłuszczu	Ograniczona dostępność grup reaktywnych; duża zmienność surowców

Tabela pokazuje, że transglutaminase nie jest dodatkiem o jednym, identycznym efekcie we wszystkich produktach. Ten sam mechanizm enzymatyczny może dawać różne wyniki, ponieważ inne są białka, stan ich denaturacji, zawartość wody, udział tłuszczu i sposób utrwalania struktury. Dlatego TG należy oceniać w kontekście konkretnej matrycy, a nie wyłącznie jako uniwersalny „enzym poprawiający teksturę” [1].

## Kluczowe zmienne procesu: co decyduje o efekcie TG?

Pierwszą zmienną jest dostępność substratu, czyli to, czy enzym ma fizyczny dostęp do odpowiednich fragmentów białek. Białko w surowcu może być obecne w dużej ilości, ale pozostawać funkcjonalnie niedostępne, jeśli jest słabo uwodnione, silnie zagregowane, zamknięte w strukturach komórkowych albo odseparowane przez tłuszcz. Właśnie dlatego mieszanie, masowanie, kutrowanie, hydratacja lub wcześniejsza obróbka białka mogą decydować o tym, czy TG realnie wpłynie na strukturę [2].

Drugą zmienną jest czas działania przed utrwaleniem produktu. Enzym potrzebuje okresu kontaktu z białkami, zanim proces zostanie zatrzymany przez ogrzewanie, gwałtowne obniżenie dostępności wody albo inne warunki ograniczające aktywność enzymatyczną. Zbyt krótki czas może dać efekt ledwie zauważalny, natomiast zbyt długie lub zbyt intensywne sieciowanie może usztywnić produkt bardziej, niż zakłada profil jakościowy [1].



**Figure 4.** 유제품 시스템에서 트랜스글루타미나아제는 눈에 보이는 표면 접촉 제처럼 작용하기보다 단백질 네트워크의 연결성을 변화시킵니다.

Trzecią zmienną jest temperatura. Jak większość enzymów, transglutaminase działa w zakresie warunków, w których jej struktura pozostaje funkcjonalna, a białka są dostępne do reakcji. W praktyce oznacza to konieczność dopasowania etapu dodania enzymu do realnego przebiegu procesu: inny

układ występuje w chłodzonym mięsie, inny w fermentującym jogurcie, a jeszcze inny w roślinnym analogie mięsa poddawany ścinaniu i ogrzewaniu [2].

Czwartą zmienną jest pH i skład receptury. Sól, fosforany, kwasy organiczne, tłuszcz, cukry, błonnik, hydrokoloidy i inne składniki mogą wpływać na rozpuszczalność białek, lepkość fazy wodnej, dostępność grup reaktywnych i równomierność dyspersji enzymu. Niektóre składniki wspierają funkcjonalność białek, inne mogą ograniczać kontakt enzymu z substratem, dlatego TG powinna być oceniana w pełnej recepturze, a nie w oderwaniu od pozostałych komponentów [1].

## Formulacja i rozmieszczenie enzymu w masie produktu

---

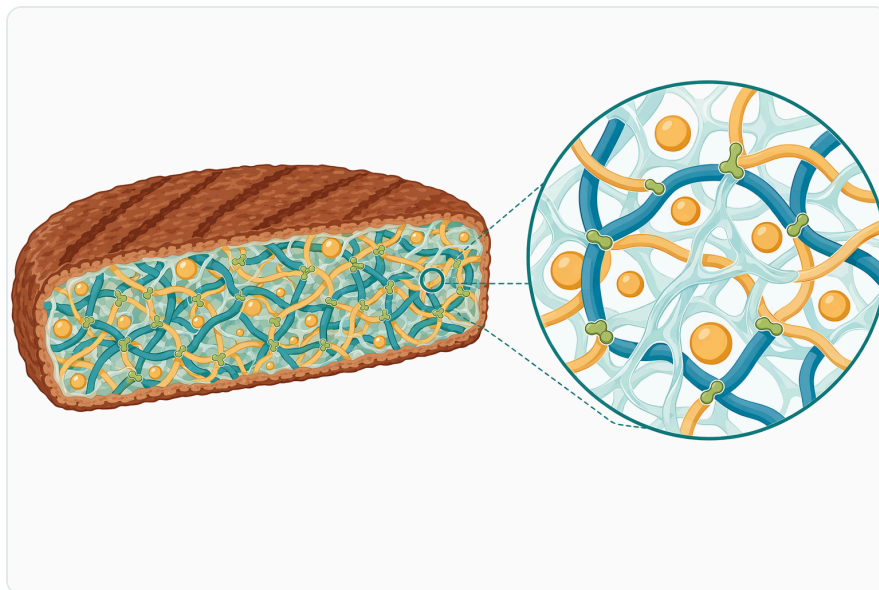
Równomierne rozmieszczenie transglutaminase jest jednym z najważniejszych warunków powtarzalnego działania. W produktach suchych lub półsuchych enzym może być częścią mieszaniny komponentów funkcjonalnych, natomiast w układach nawodnionych bywa wprowadzany na etapie mieszania, masowania, tumbrowania albo innego procesu zapewniającego kontakt z białkiem. Enzymes.bio opisuje TG jako produkt przeznaczony do systemów białkowych, gdzie liczą się takie efekty jak wiązanie, tekstura i retencja wody .

Nierównomierne rozprowadzenie może powodować lokalne różnice w teksturze: jedne obszary produktu będą zbyt zwarte, inne zbyt słabo związane. Problem ten jest szczególnie istotny w dużych masach mięsnych, produktach z kawałków, mieszaninach o wysokiej lepkości oraz formulacjach roślinnych, w których białko, tłuszcz i włókno mogą tworzyć oddzielne mikrofazы. Dlatego skuteczność TG często zależy bardziej od inżynierii procesu niż od samego faktu dodania enzymu [1].

## Realistyczne korzyści i granice zastosowania

---

Najbardziej realistyczną korzyścią z użycia transglutaminase jest lepsze wykorzystanie funkcjonalności białek już obecnych w recepturze. Enzym może poprawić wiązanie, ale nie zastąpi białka tam, gdzie jest go za mało. Może ograniczyć wyciek, ale nie naprawi układu o błędnie zaprojektowanym stosunku wody do suchej masy. Może poprawić krojliwość, ale nie skompensuje całkowicie niskiej jakości surowca, niewłaściwego rozdrobnienia lub zbyt agresywnej obróbki cieplnej [2].



**Figure 5.** 식물성 대체육은 효소적 단백질 가교 결합을 다른 구조 형성 시스템과 결합해 씹는 식감과 형태 유지력을 높일 수 있습니다.

W dobrze dobranych zastosowaniach TG pozwala ograniczać kruszenie plastrów, wzmacniać żele, poprawiać kształt porcji, stabilizować produkty z rozdrobnionych surowców i zwiększać odporność struktury na transport oraz dalszą obróbkę. Korzyści te są szczególnie widoczne tam, gdzie struktura zależy od wielu słabych interakcji białkowych, które można wzmocnić trwałymi połączeniami enzymatycznymi [1].

Granice zastosowania są równie ważne. Nadmierne sieciowanie może dawać teksturę zbyt twardą, sprężystą w niepożądany sposób albo odbieraną jako nienaturalna. W produktach mlecznych może zmieniać odczucie lepkości i rozpląwalności, w roślinnych analogach mięsa — utrudniać uzyskanie soczystości, a w mięsie restrukturyzowanym — prowadzić do zbyt zwartego, jednorodnego profilu. Odpowiedzialne użycie TG polega więc na regulacji efektu, a nie maksymalizacji sieciowania [2].

## Bezpieczeństwo procesu i jakość produktu końcowego

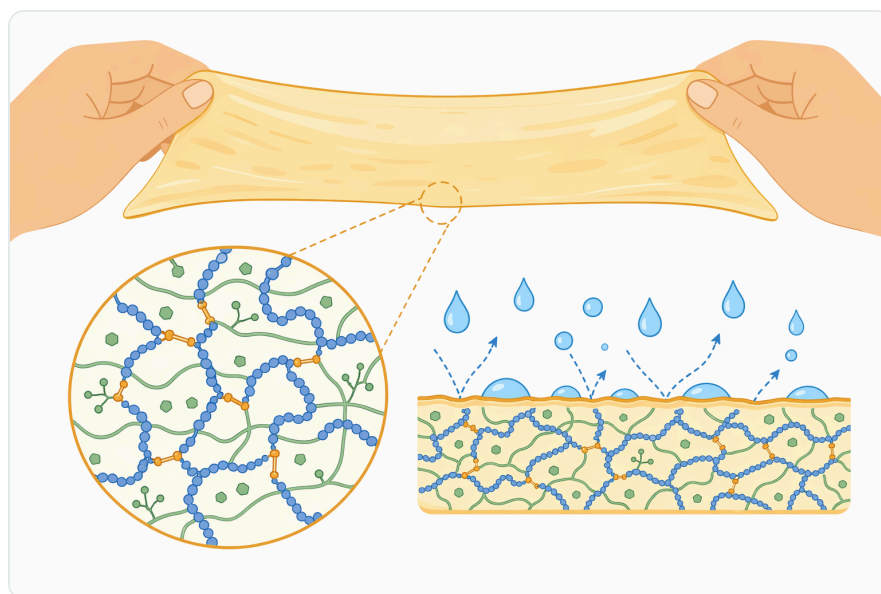
Transglutaminase powinna być traktowana jako składnik procesu technologicznego, który nie zastępuje kontroli higieny, temperatury, czasu, surowca ani zgodności z przepisami dotyczącymi danej kategorii żywności. Enzym może poprawiać strukturę, ale nie usuwa zagrożeń mikrobiologicznych i nie powinien być używany do maskowania wad surowca. Standardy bezpieczeństwa produktu końcowego muszą wynikać z całego systemu produkcji, a nie z samej obecności TG [1].

W kontekście jakości należy pamiętać, że enzym modyfikuje białka obecne w recepturze, lecz nie usuwa ich natury żywieniowej ani potencjalnej alergenicności. Jeżeli produkt zawiera mleko, soję, pszenicę, ryby lub inne białka alergenne, ich obecność pozostaje istotna dla oznakowania i zarządzania ryzykiem.

Sieciowanie może zmieniać właściwości technologiczne białek, ale nie powinno być interpretowane jako sposób na eliminację konieczności prawidłowej informacji o składzie <sup>[2]</sup>.

## Dostępność transglutaminase przez Enzymes.bio

Enzymes.bio udostępnia transglutaminase jako produkt do zastosowań w przetwórstwie żywności i systemach białkowych. Oferta jest dostępna online, a produkt sprzedawany jest w jednostkach 1 kg. Firma pełni rolę dostawcy; nie należy jej przedstawiać jako producenta enzymu ani laboratorium wykonującego badania nad produktem .



**Figure 6.** 가교 결합은 단백질 기반 식용 필름의 연결성을 높이고 기계적 강도를 강화하며, 급격한 수분 변화에 덜 민감하게 만들 수 있습니다.

Dokumenty CoA i SDS są dostarczane wraz z zamówieniem. Z perspektywy użytkownika przemysłowego oznacza to, że dokumentacja towarzysząca produktowi jest elementem realizacji zamówienia, natomiast decyzje technologiczne dotyczące formulacji, warunków procesu i zgodności prawnej powinny być prowadzone w ramach własnego systemu jakości oraz wymagań właściwych dla danej kategorii produktu .

## Podsumowanie techniczne

Transglutaminase jest enzymem do sieciowania białek, którego wartość technologiczna wynika z tworzenia trwałych połączeń między fragmentami białkowymi. W praktyce może poprawiać spójność, krojliwość, elastyczność, stabilność żeli i retencję wody w produktach mięsnych, rybnych, mlecznych

oraz roślinnych. Najlepsze efekty pojawiają się wtedy, gdy receptura zawiera odpowiednie białka, enzym jest równomiernie rozmieszczony, a proces daje mu czas na działanie przed utwaleniem struktury <sup>[1]</sup>.

TG nie jest uniwersalnym rozwiązaniem dla każdej formułacji. Jej skuteczność zależy od dostępności białek, uwodnienia, pH, temperatury, składu receptury, jakości surowca i kolejności etapów procesu. Właściwie zastosowana może być precyzyjnym narzędziem do projektowania tekstury; użyta bez kontroli może dać efekt zbyt słaby, nierównomierny albo nadmiernie usztywniający <sup>[2]</sup>.

Dla odbiorców B2B najważniejsze jest podejście procesowe: transglutaminase należy traktować jako funkcjonalny enzym modyfikujący matrycę białkową, a nie jako prosty dodatek naprawiający wszystkie problemy strukturalne. Enzymes.bio udostępnia produkt online w jednostkach 1 kg, z CoA i SDS dostarczonymi wraz z zamówieniem, co pozwala włączyć TG do kontrolowanych zastosowań technologicznych zgodnie z wymaganiami zakładu i kategorii produktu .

## Zamów Transglutaminase online

Sprzedawany w jednostkach 1 kg, dostępny z magazynu i gotowy do wysyłki. Zamów bezpośrednio w naszym sklepie — zapłać online, a my przetworzymy Twoje zamówienie. Do każdego zamówienia dołączamy Certyfikat Analizy i Kartę Charakterystyki.

[Kup Transglutaminase →](#)

## Bibliografia

Ponumerowano według kolejności pierwszego cytowania. Źródła open access, każde zweryfikowane jako dostępne w momencie publikacji; numery cytowań w tekście prowadzą tutaj.

1. [Pmc10419021](#). *PubMed Central*.
2. [31879822](#). *Nih*.

## Skontaktuj się z Enzymes.bio

Masz pytania dotyczące zamówienia? Nasz zespół chętnie pomoże.

E-MAIL [wholesale@enzymes.bio](mailto:wholesale@enzymes.bio)

TELEFON (USA) **+1 (507) 428-6057**

[Skontaktuj się z nami →](#)



**400+** klientów B2B



**60+** partnerów badawczych z uczelni



**54** obsługiwanych na całym świecie

© 2026 Enzymes.bio · Dostawy enzymów przemysłowych i do przetwórstwa żywności · Nie do spożycia przez ludzi ani sprzedaży detalicznej.