

Transglutaminaza spożywcza TG (CAS 80146-85-6) do poprawy tekstury mięsa, nabiału i produktów białkowych

Zespół badawczy Enzymes.bio · Wellington, Nowa Zelandia · June 20, 2026

Transglutaminaza spożywcza TG to enzym technologiczny stosowany do sieciowania białek, czyli tworzenia trwałych połączeń między cząsteczkami białkowymi w żywności. W praktyce pomaga poprawiać spoistość, elastyczność, żelowanie, zatrzymywanie wody i stabilność tekstury w produktach mięsnych, rybnych, mlecznych, zbożowych oraz roślinnych ^[1]. Enzymes.bio oferuje ten produkt jako dostawca online w jednostkach 1 kg; dokumenty CoA i SDS są dostarczane wraz z zamówieniem .

Czym jest transglutaminaza spożywcza TG?

Transglutaminaza, często oznaczana skrótem TG lub MTG w przypadku wariantów mikrobiologicznych, jest enzymem modyfikującym białka poprzez katalizowanie reakcji acylotransferazy. Najważniejszym efektem tej reakcji w żywności jest powstawanie wiązań izopeptydowych między resztami glutaminy i lizyny w białkach, co prowadzi do ich usieciowania i zmiany właściwości funkcjonalnych ^[2].

W przemyśle spożywczym szczególne znaczenie ma transglutaminaza mikrobiologiczna, ponieważ jest szeroko opisywana jako enzym przydatny technologicznie w wielu matrycach białkowych. Przeglądy literatury wskazują zastosowania m.in. w przetwórstwie mięsa, ryb, mleka, pieczywa, makaronów, wyrobów roślinnych i filmów jadalnych ^[3].

Produkt TG oferowany przez Enzymes.bio należy traktować jako składnik technologiczny do pracy z białkami, a nie jako substancję smakową, konserwant czy składnik odżywczy. Enzymes.bio jest dostawcą produktu w sprzedaży online, nie producentem enzymu ani laboratorium prowadzącym badania aplikacyjne dla konkretnych receptur klientów .

Mechanizm działania: jak TG wiąże białka w żywności

Podstawowy mechanizm transglutaminazy polega na przeniesieniu grupy acylowej z reszty glutaminowej związanej w łańcuchu białkowym na grupę aminową, najczęściej pochodzącą z reszty lizynowej innego fragmentu białka. Powstające wiązanie ϵ -(γ -glutamilo)lizynowe jest kowalencyjne,

dlatego sieć białkowa staje się bardziej odporna mechanicznie niż struktury utrzymywane wyłącznie przez słabe oddziaływania fizyczne [4].

Z punktu widzenia technologii żywności oznacza to, że enzym nie „skleja” produktu w sensie mechanicznym, lecz zmienia architekturę białek na poziomie molekularnym. Jeśli w recepturze są dostępne białka o odpowiednich resztach aminokwasowych i zapewniony jest kontakt enzymu z substratem, TG może zwiększać spójność masy, poprawiać żelowanie i stabilizować strukturę podczas krojenia, formowania lub obróbki [1].

Reakcja może zachodzić wewnątrz tej samej cząsteczki białka lub między różnymi cząsteczkami. W praktyce międzycząsteczkowe sieciowanie jest szczególnie istotne, ponieważ prowadzi do tworzenia większych agregatów i trójwymiarowych sieci białkowych, co przekłada się na sprężystość, lepkość, jędrność oraz zdolność zatrzymywania wody [2].

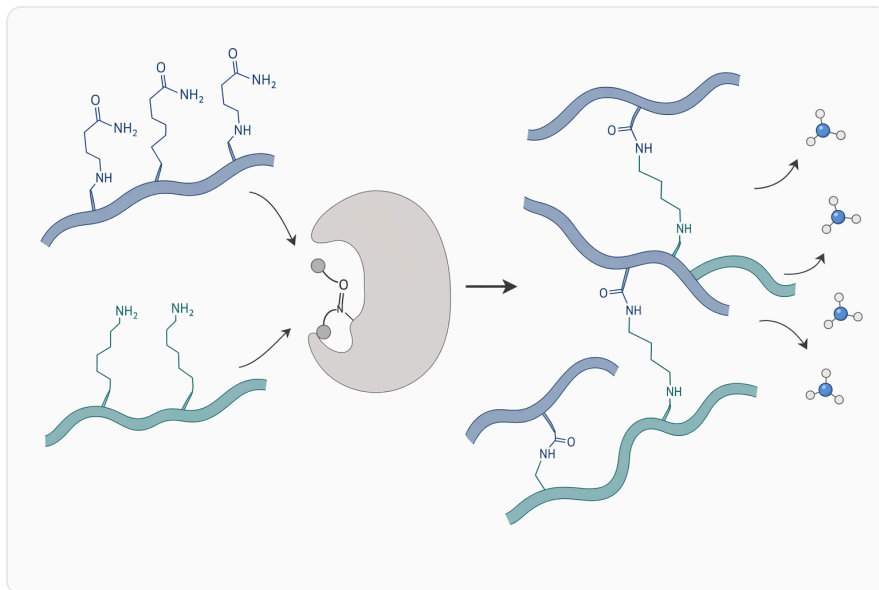


Figure 1. 트랜스글루타미나아제는 글루타민 잔기와 라이신 잔기 사이에 공유 결합인 ϵ -(γ -글루타밀) 라이신 가교를 형성하여 식품 단백질 네트워크를 강화한다.

Jeżeli w danej matrycy brakuje odpowiednich grup aminowych, transglutaminaza może sprzyjać także reakcjom deamidacji, ale w zastosowaniach spożywczych najbardziej pożądanym efektem pozostaje kontrolowane sieciowanie białek. Z tego powodu skuteczność TG zależy nie tylko od samego enzymu, lecz także od rodzaju białka, stopnia jego denaturacji, uwodnienia, pH, temperatury, czasu kontaktu i sposobu dalszej obróbki produktu [4].

Dlaczego sieciowanie białek poprawia teksturę?

Białka w żywności pełnią funkcje strukturotwórcze: tworzą żele, emulsje, piany, włókna i matryce zatrzymujące wodę oraz tłuszcz. Gdy sieć białkowa jest zbyt słaba, produkt może się kruszyć, wydzielać wodę, tracić kształt po podgrzaniu albo źle znosić krojenie i porcjowanie. Transglutaminaza wzmacnia tę sieć poprzez dodatkowe wiązania kowalencyjne, których nie da się łatwo odtworzyć samym mieszaniem lub chłodzeniem [3].

Efekty technologiczne są zwykle najbardziej widoczne w produktach bogatych w białka mięśniowe, kazeinę, białka serwatkowe, białka soi lub inne izolaty i koncentraty białkowe. Badania nad układami białkowymi pokazują, że sieciowanie może zmieniać rozpuszczalność, właściwości reologiczne i strukturę agregatów białkowych, a w konsekwencji wpływać na zachowanie produktu w czasie obróbki [5].

Nie należy jednak zakładać, że TG działa identycznie w każdej recepturze. Białka różnią się dostępnością reszt glutaminy i lizyny, stopniem pofałdowania, oddziaływaniami z tłuszczem, solą, błonnikiem, polisacharydami i innymi składnikami. Dlatego w jednej matrycy efekt może być wyraźny i korzystny, a w innej ograniczony lub wymagający korekty procesu [4].

Typowe problemy technologiczne, które rozwiązuje transglutaminaza

W produkcji żywności białkowej TG jest używana przede wszystkim tam, gdzie sama receptura nie zapewnia wystarczającej spójności. Dotyczy to zwłaszcza produktów restrukturyzowanych, wyrobów z rozdrobnionych surowców, żeli mlecznych, farszów, analogów mięsa i produktów wysokobiałkowych, w których pożądana jest powtarzalna tekstura [1].

Najczęstsze cele technologiczne obejmują poprawę krojenia, ograniczenie kruszenia, zmniejszenie wycieku wody, zwiększenie sprężystości, stabilizację emulsji białkowo-tłuszczowych oraz uzyskanie bardziej zwartej struktury po obróbce cieplnej. Są to efekty wynikające bezpośrednio z tego, że usieciowane białka tworzą bardziej stabilną matrycę fizyczną [3].

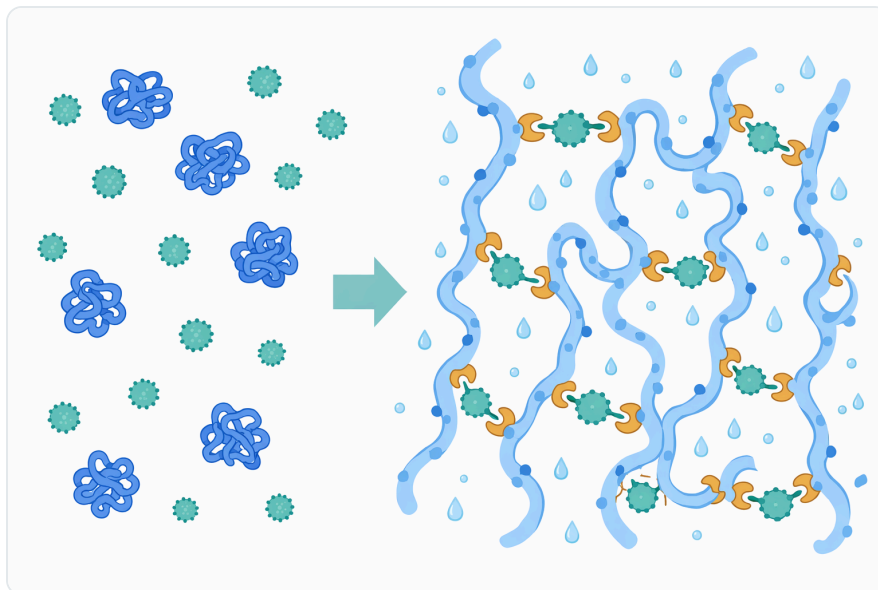


Figure 2. 수화, 가용화, 부분적 변성은 단백질 부위를 더 노출시켜 트랜스글루타미나아제가 촉매하는 가교 형성이 더 쉽게 일어나도록 한다.

Ważne jest rozróżnienie między poprawą funkcjonalności białka a maskowaniem jakości surowca. Odpowiedzialne zastosowanie transglutaminazy polega na projektowaniu struktury produktu w ramach zgodnej z prawem receptury i etykietowania, a nie na zastępowaniu kontroli jakości, higieny czy prawidłowej technologii [6].

Zastosowania transglutaminazy w różnych kategoriach żywności

Produkty mięsne i drobiowe

W przetwórstwie mięsa TG jest jedną z najlepiej opisanych technologii enzymatycznego wzmacniania struktury. Enzym może wspierać łączenie mniejszych fragmentów surowca, poprawiać spoistość farszu, ograniczać rozpad podczas krojenia i pomagać w uzyskaniu jednolitej tekstury produktów formowanych [1].

W wyrobach drobiowych, mięsnych blokach, produktach restrukturyzowanych i farszach działanie enzymu wynika z sieciowania białek miofibrylarnych. Białka te naturalnie odpowiadają za żelowanie i strukturę mięsa po obróbce; dodatkowe wiązania tworzone przez TG mogą zwiększać integralność masy przed i po utrwaleniu procesu [4].

Zastosowanie TG nie eliminuje znaczenia soli, mieszania, temperatury surowca, rozdrobnienia i obróbki cieplnej. Enzym jest elementem systemu technologicznego: jeśli białka nie są odpowiednio uwodnione albo masa jest nierównomiernie wymieszana, sieciowanie może przebiegać lokalnie i dawać niejednorodny efekt [3].

Ryby, owoce morza i surimi

Produkty rybne, zwłaszcza surimi i wyroby z rozdrobnionych surowców, wymagają sprężystej, stabilnej matrycy białkowej. Transglutaminaza może wzmacniać żele białek rybnych, poprawiać elastyczność i ograniczać rozpad struktury podczas formowania, gotowania lub krojenia [1].

W tej kategorii kluczowe znaczenie ma świeżość i funkcjonalność białek mięśniowych. Surowiec poddany degradacji proteolitycznej lub o niskiej zdolności żelowania może odpowiadać słabiej, ponieważ enzym sieciuje dostępne białka, ale nie odbudowuje białek już istotnie rozłożonych [4].

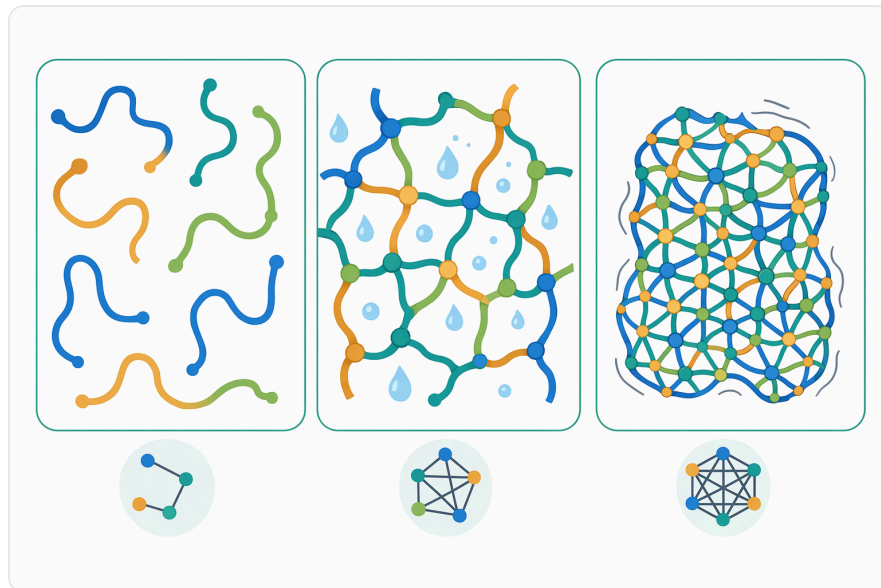


Figure 3. 가교 밀도가 적절한 중간 범위에 도달하면 식감이 개선되지만, 가교가 부족하거나 과도하면 제품이 약하거나 지나치게 단단해질 수 있다.

Nabiał: jogurty, sery i produkty fermentowane

W produktach mlecznych TG oddziałuje przede wszystkim z kazeiną i białkami serwatkowymi. Sieciowanie może zwiększać gęstość żelu, poprawiać odczucie kremowości i ograniczać synerezę, czyli wydzielanie serwatki z produktu fermentowanego [7].

W serowarstwie i produkcji jogurtów istotny jest moment kontaktu enzymu z białkiem względem denaturacji, fermentacji, koagulacji i obróbki cieplnej. Struktura kazeiny oraz stopień włączenia białek serwatkowych do sieci wpływają na to, czy efekt końcowy będzie korzystny pod względem konsystencji, uzysku i stabilności [5].

TG może być interesująca także w produktach mlecznych o obniżonej zawartości tłuszczu, gdzie brakuje naturalnego wkładu tłuszczu w teksturę. Sieciowanie białek może częściowo kompensować słabsze odczucie pełni, choć efekt sensoryczny zawsze zależy od całej receptury, a nie wyłącznie od enzymu [7].

Piekarnictwo, makarony i produkty zbożowe

W produktach zbożowych transglutaminaza może wpływać na reologię ciasta, elastyczność, zdolność zatrzymywania gazu i strukturę miększu. Jej przydatność zależy od rodzaju mąki, zawartości białka, obecności glutenu lub białek alternatywnych oraz interakcji z innymi składnikami receptury [8].

W pieczywie pszennym TG może modyfikować sieć białkową ciasta, natomiast w produktach bezglutenowych jej efekt zależy od tego, czy w recepturze obecne są białka podatne na sieciowanie. Sama obecność skrobi, błonnika lub hydrokoloidów nie wystarcza, ponieważ podstawowym substratem enzymu są białka [9].

W makaronach, kluskach i produktach formowanych z udziałem białek TG może wspierać spistość po gotowaniu oraz ograniczać nadmierne rozpadanie struktury. Efekt jest jednak wynikiem równowagi między siecią białkową, żelowaniem skrobi i warunkami suszenia lub obróbki termicznej [8].

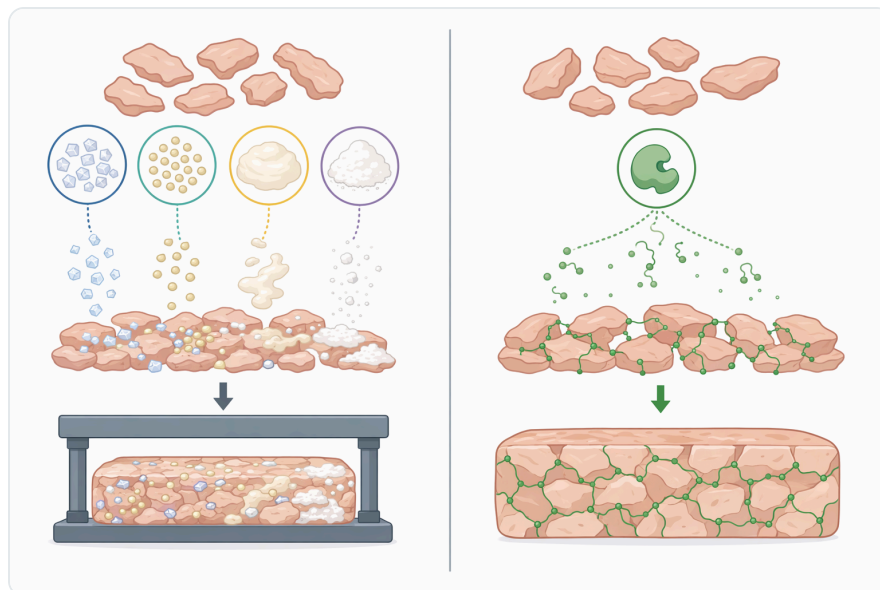


Figure 4. 트랜스글루타미나아제는 식품 자체의 단백질을 공유 결합으로 연결해 구조를 만든다는 점에서 열, 하이드로콜로이드, 전분, 프로테아제와 다르다.

Produkty roślinne i alternatywy mięsa

Rynek roślinnych alternatyw mięsa zwiększył zainteresowanie enzymami, które poprawiają strukturę białek soi, grochu, pszenicy, ziemniaka, ryżu lub mieszanek wysokobiałkowych. Transglutaminaza może wspierać tworzenie bardziej zwartej matrycy, co jest ważne dla burgerów roślinnych, farszów, analogów ryb i produktów typu high-protein [1].

Białka roślinne są jednak bardzo zróżnicowane. Izolat soi może reagować inaczej niż białko grochu, gluten pszeniczny, białko ryżu czy białko ziemniaczane, ponieważ różnią się profilem aminokwasowym, strukturą, rozpuszczalnością i podatnością na denaturację. Z tego względu TG powinna być traktowana jako narzędzie projektowania tekstury, a nie uniwersalny zamiennik procesu ekstruzji, hydratacji czy odpowiedniego doboru składników ^[4].

Filmy jadalne i powłoki białkowe

Transglutaminaza jest opisywana również w kontekście jadalnych filmów i powłok białkowych. Sieciovanie białek może poprawiać odporność mechaniczną, elastyczność i integralność cienkich warstw stosowanych do ochrony powierzchni żywności ^[3].

W takich zastosowaniach znaczenie mają właściwości filmu: przepuszczalność pary wodnej, zdolność tworzenia ciągłej warstwy, stabilność podczas przechowywania i kompatybilność z żywnością. TG może wspierać strukturę białkowej matrycy, ale funkcjonalność powłoki zależy także od plastyfikatorów, wilgotności i składu całego systemu ^[4].

Porównanie głównych zastosowań TG w żywności

Kategoria produktu	Główne białka lub matryca	Typowy cel technologiczny	Co decyduje o efekcie	Siła udokumentowania w literaturze
Mięso i drób	Białka miofibrylarne	Spoistość, krojenie, restrukturyzacja, jędrność	Rozdrobnienie, uwodnienie, mieszanie, obróbka cieplna	Wysoka – częste zastosowanie przemysłowe ^[1]
Ryby i surimi	Białka mięśniowe ryb	Elastyczne żele, stabilność kształtu, sprężystość	Jakość surowca, aktywność proteaz, temperatura procesu	Wysoka – dobrze opisana kategoria aplikacyjna ^[3]
Nabiał	Kazeina, białka serwatkowe	Gęstość żelu, ograniczenie synerazy, konsystencja	Denaturacja białek, fermentacja, koagulacja	Wysoka – szczególnie w jogurtach i serach ^[7]
Piekarnictwo i makarony	Gluten lub białka dodane	Reologia ciasta, objętość, tekstura po gotowaniu	Typ mąki, białko, hydratacja, inne enzymy	Średnia do wysokiej – zależna od receptury ^[8]
Produkty roślinne	Soja, groch, pszenica,	Zwartość, soczystość, odporność na rozpad	Rodzaj izolatu, denaturacja, tłuszcz, błonnik	Rosnąca – silnie zależna od matrycy ^[4]

Kategoria produktu	Główne białka lub matryca	Typowy cel technologiczny	Co decyduje o efekcie	Siła udokumentowania w literaturze
	mieszanki białkowe			
Filmy jadalne	Białka serwatkowe lub roślinne	Integralność powłoki, wytrzymałość, elastyczność	Skład filmu, wilgotność, plastyfikatory	Specjalistyczna, ale konsekwentnie opisywana [3]

Czynniki procesowe wpływające na skuteczność transglutaminazy

Najważniejszym warunkiem skuteczności TG jest dostępność białka. Enzym nie buduje struktury na bazie samej skrobi, cukrów lub tłuszczów; potrzebuje odpowiednich reszt aminokwasowych w białkach. Dlatego receptury wysokoskrobiowe lub tłuszczowe bez wystarczającego udziału białka mogą wykazywać ograniczoną odpowiedź na TG [2].

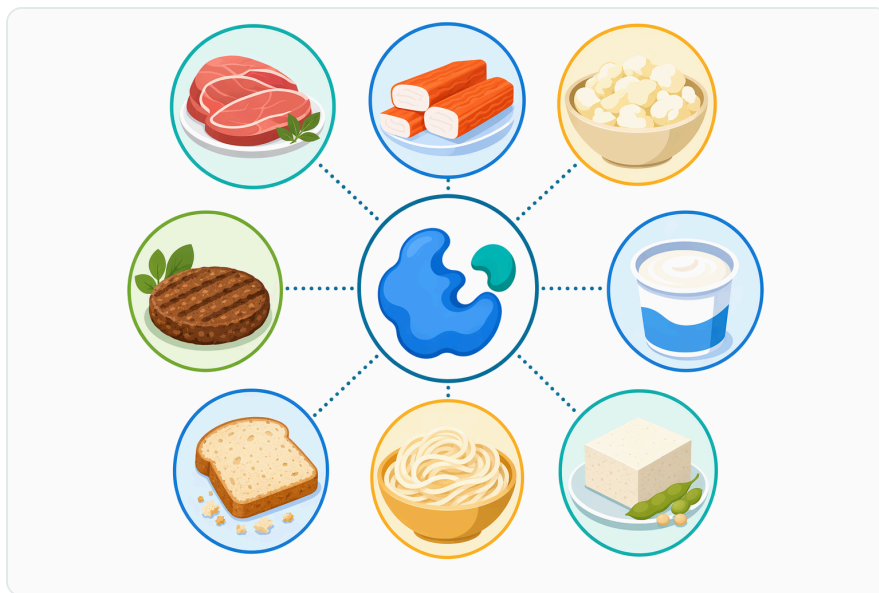


Figure 5. 주요 식품 응용 분야에는 육류 재구성, 수리미 겔 강화, 유제품 겔 조절, 식물성 단백질 결합, 밀가루 반죽 조정, 에멀션, 식용 필름이 포함된다.

Drugim czynnikiem jest równomierne rozprowadzenie enzymu w masie. Ponieważ reakcja zachodzi tam, gdzie enzym fizycznie kontaktuje się z substratem, niedostateczne wymieszanie może powodować lokalne różnice tekstury: miejsca nadmiernie zbite obok obszarów słabiej związanych [4].

Trzecim czynnikiem jest stan białka. Częściowa denaturacja może zwiększać dostępność miejsc reakcji, ale nadmierna degradacja lub agregacja może ograniczać kontrolę nad sieciowaniem. W nabiale, mięsie i produktach roślinnych wynik zależy od historii surowca: wcześniejszego ogrzewania, mrożenia,

homogenizacji, ekstrakcji lub działania innych enzymów ^[5].

Czwartym czynnikiem jest czas procesu. Zbyt krótki kontakt może nie pozwolić na rozwinięcie sieci białkowej, natomiast zbyt intensywne sieciowanie może prowadzić do tekstury zbyt twardej, gumowatej lub niezgodnej z oczekiwaniami sensorycznymi. Celem technologii nie jest maksymalna reakcja enzymatyczna, lecz osiągnięcie właściwej struktury produktu ^[1].

Istotne są także pH, temperatura, zawartość soli, aktywność wody i obecność składników konkurujących o oddziaływanie z białkami. W praktyce TG najlepiej rozpatrywać jako część całego systemu recepturowo-procesowego, obejmującego surowce, mieszanie, odpoczynek, formowanie, fermentację, ogrzewanie i chłodzenie ^[8].

Transglutaminaza a bezpieczeństwo żywności i etykietowanie

Transglutaminaza jest szeroko stosowana i opisywana w kontekście technologii żywności, ale jej użycie powinno być zgodne z przepisami właściwymi dla rynku, kategorii produktu i sposobu komunikacji z konsumentem. Status enzymu jako substancji pomocniczej w przetwarzaniu lub składnika wymagającego deklaracji może zależeć od jurysdykcji oraz od tego, czy enzym pełni funkcję w produkcie końcowym ^[10].

Szczególną uwagę należy zwracać na produkty restrukturyzowane, ponieważ konsument nie powinien być wprowadzany w błąd co do natury wyrobu. Jeżeli mniejsze kawałki mięsa lub ryb zostały połączone w większy produkt, wymagania etykietowania mogą obejmować jasne wskazanie charakteru takiej struktury, zależnie od lokalnych regulacji ^[6].



Figure 6. 육류, 가금류, 해산물 및 수리미 시스템에서는 노출된 근육 단백질 사이의 가교가 결합력, 슬라이스성, 겔 탄성을 향상시킨다.

TG nie zastępuje kontroli mikrobiologicznej, chłodniczej ani higienicznej. W produktach restrukturyzowanych zwiększenie powierzchni kontaktu surowca i manipulacja rozdrobnionymi elementami oznaczają, że bezpieczeństwo procesu musi być zapewnione przez prawidłowe procedury produkcyjne, obróbkę cieplną i kontrolę łańcucha chłodniczego, a nie przez sam enzym [6].

Alergenność i celiakia: co mówi ostrożna interpretacja badań

Wpływ enzymatycznego sieciowania na alergenność białek jest przedmiotem badań, ale nie daje podstaw do prostych, uniwersalnych deklaracji. Przegląd dotyczący transglutaminazy i alergenności wskazuje, że sieciowanie może zmieniać dostępność epitopów, trawienie białek oraz reakcje immunologiczne, przy czym kierunek efektu zależy od konkretnego białka i warunków procesu [11].

Oznacza to, że TG nie powinna być komunikowana jako narzędzie „obniżania alergenności” bez specyficznych danych dla danego produktu. W jednej matrycy sieciowanie może maskować pewne epitopy, w innej tworzyć struktury bardziej odporne na trawienie albo zmieniać prezentację fragmentów białkowych w sposób trudny do przewidzenia [11].

W literaturze pojawiają się również dyskusje dotyczące mikrobiologicznej transglutaminazy i chorób związanych z glutenem. Prace przeglądowe podkreślają potrzebę ostrożnej oceny ryzyka, szczególnie w żywności zawierającej gluten lub kierowanej do populacji wrażliwych, a także konieczność rozdzielenia hipotez mechanistycznych od dowodów klinicznych [6].

Praktyczna konkluzja dla producentów jest prosta: TG jest narzędziem teksturotwórczym, nie składnikiem o deklarowanych korzyściach zdrowotnych. Wszelkie komunikaty dotyczące alergenów, glutenu, strawności czy bezpieczeństwa grup wrażliwych powinny wynikać z obowiązujących regulacji i danych właściwych dla konkretnego wyrobu [10].

Transglutaminaza w nowoczesnej technologii enzymów spożywczych

TG wpisuje się w szerszy trend wykorzystania enzymów do precyzyjnej modyfikacji żywności. Enzymy pozwalają prowadzić reakcje selektywne, często w łagodniejszych warunkach niż procesy czysto chemiczne, a ich zastosowanie może poprawiać funkcjonalność surowców bez radykalnej zmiany receptury [8].

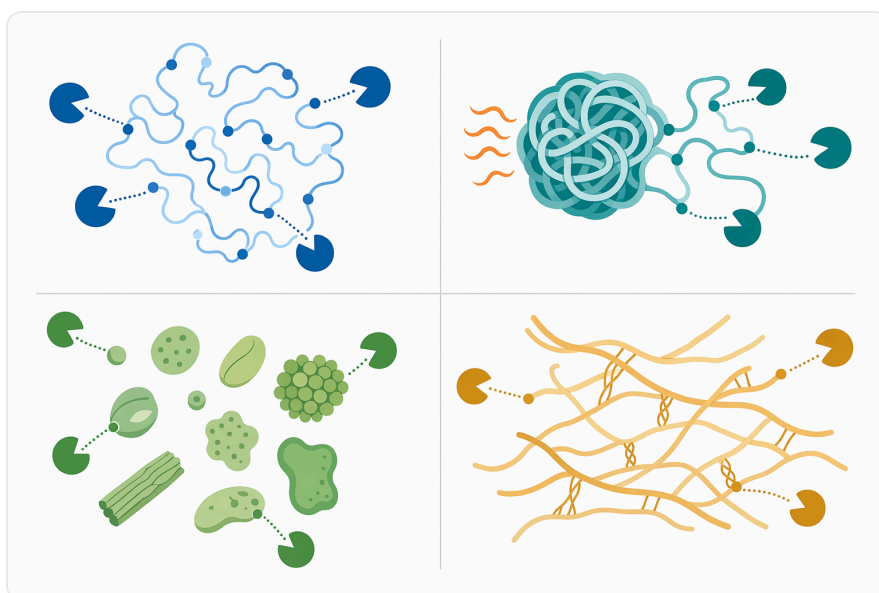


Figure 7. 단백질 공급원마다 반응이 다른 것은 반응 부위의 접근성이 단백질 구조, 가공 이력, 용해도, 수화 상태에 따라 달라지기 때문이다.

W przypadku transglutaminazy główną zaletą jest to, że efekt technologiczny wynika z naturalnie obecnych grup funkcyjnych białek. Enzym nie dodaje struktury z zewnątrz, lecz reorganizuje istniejące białka w bardziej spójną sieć. Ta cecha odróżnia TG od zagęstników polisacharydowych, emulgatorów czy stabilizatorów działających głównie poprzez lepkość lub interakcje powierzchniowe [4].

Rzeczony badań nad stabilnością, strukturą i aktywnością transglutaminaz pokazuje, że właściwości enzymu zależą od jego budowy białkowej. Prace nad inżynierią transglutaminazy ze *Streptomyces mobaraensis* wskazują, że zmiany w elastycznych regionach enzymu mogą wpływać na termostabilność i aktywność katalityczną, co potwierdza znaczenie struktury enzymu dla zastosowań przemysłowych [12].

Dla użytkownika przemysłowego najważniejszy pozostaje jednak efekt w konkretnej matrycy żywności. Nawet dobrze opisany enzym może dawać różne rezultaty w mięsie, jogurcie, burgerze roślinnym lub cieście, ponieważ każdy z tych układów ma inną architekturę białek, wodę, tłuszcz, pH i historię obróbki [1].

Rola produktu dostarczanego przez Enzymes.bio

Transglutaminaza TG oferowana przez Enzymes.bio jest przeznaczona do zastosowań spożywczych związanych z poprawą tekstury produktów białkowych. Produkt jest dostępny bezpośrednio online w jednostkach 1 kg, a dokumenty CoA i SDS są dostarczane wraz z zamówieniem .

W modelu B2B taki produkt może być wykorzystywany przez firmy opracowujące lub prowadzące procesy, w których kluczowe są struktura, spoistość, krojenie, żelowanie i stabilność gotowego wyrobu. Enzymes.bio pełni tu rolę dostawcy produktu, natomiast projektowanie receptury, walidacja procesu, zgodność regulacyjna i ocena bezpieczeństwa pozostają po stronie użytkownika technologii .

W praktyce transglutaminaza jest najbardziej użyteczna tam, gdzie producent ma jasno określony cel teksturalny: bardziej sprężysty żel, mniejszy wyciek, stabilniejsze porcje, lepsze wiązanie rozdrobnionych elementów albo poprawę struktury produktu wysokobiałkowego. Jeżeli problem technologiczny wynika głównie z niskiej jakości surowca, degradacji białka, błędów termicznych lub niewłaściwej higieny, sam enzym nie będzie rozwiązaniem [6].

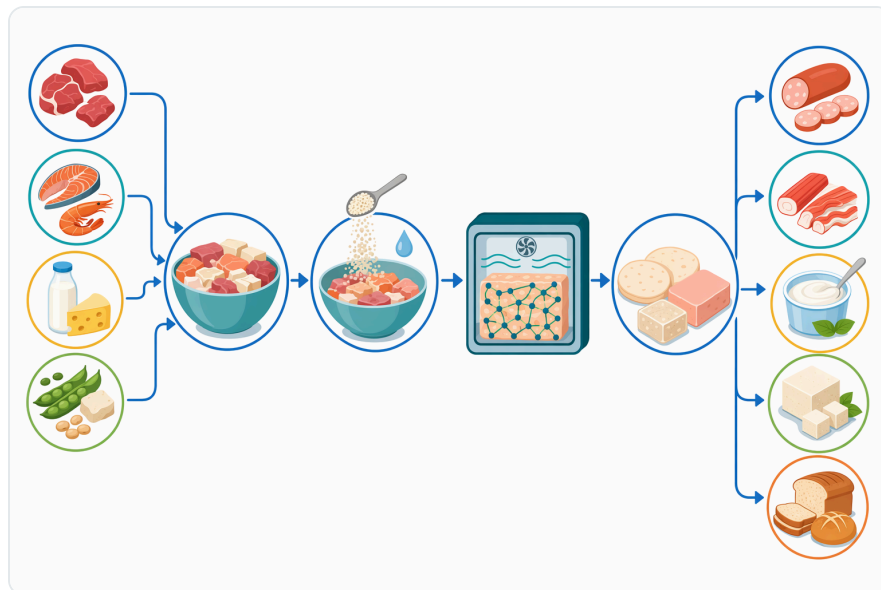


Figure 8. 효과적으로 사용하려면 수화, 효소 분산, 단백질 추출 또는 변성, 유지·성형 시간, 최종 가열 또는 안정화 과정을 조화롭게 조절해야 한다.

Najważniejsze wnioski technologiczne

Transglutaminaza spożywcza TG jest enzymem sieciującym białka, którego główna wartość polega na wzmacnianiu matrycy białkowej żywności. Mechanizm opiera się na tworzeniu kowalencyjnych wiązań między resztami glutaminy i lizyny, co może poprawiać spoistość, elastyczność, żelowanie, stabilność i zdolność zatrzymywania wody [2].

Najlepiej udokumentowane zastosowania obejmują mięso, drób, ryby, surimi, produkty mleczne, pieczywo, makarony, żywność roślinną oraz specjalistyczne filmy białkowe. W każdej z tych kategorii efekt zależy od matrycy: rodzaju białek, ich dostępności, uwodnienia, mieszania, czasu reakcji i dalszej obróbki [1].

TG nie jest uniwersalnym środkiem poprawiającym każdy produkt. Jest precyzyjnym narzędziem technologii białek, które działa najlepiej wtedy, gdy receptura zawiera odpowiednie substraty, proces zapewnia równomierny kontakt enzymu z białkiem, a końcowy efekt teksturalny jest jasno zdefiniowany [4].

Odpowiedzialne stosowanie transglutaminazy wymaga uwzględnienia przepisów, etykietowania, alergenów, bezpieczeństwa procesu i komunikacji z konsumentem. Szczególnie w produktach restrukturyzowanych oraz w żywności zawierającej alergeny niezbędna jest ostrożność regulacyjna i technologiczna [10].

W zastosowaniach B2B produkt TG dostarczany przez Enzymes.bio może być traktowany jako praktyczne narzędzie do projektowania tekstury w produktach białkowych. Jego wartość nie polega na zmianie smaku czy konserwowaniu żywności, lecz na kontrolowanej modyfikacji białek, która przekłada się na bardziej przewidywalną strukturę gotowego wyrobu .

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

Bibliografia

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

1. Muhammad, A. S., Abdulqader, A., Al-Ansi, W., Sajid, B., Al-Jaberi, H., Ejaz, S., Habimana, ... et al. (2021). Current industrial applications of microbial transglutaminase: A review. *International Journal of Advanced engineering Management and Science*.
2. Nielsen, P. (1995). Reactions and potential industrial applications of transglutaminase. Review of literature and patents. *Food Biotechnology*, 9, 119-156.
3. Kolotylo, V., Piwowarek, K., & Kieliszek, M. (2023). Microbiological transglutaminase: Biotechnological application in the food industry. *Open Life Sciences*, 18.
4. Kieliszek, M. (2026). Microbial transglutaminase in food biotechnology: from biochemical mechanisms to industrial applications. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 110.
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. Lerner, A., Benzvi, C., & Vojdani, A. (2024). The Frequently Used Industrial Food Process Additive, Microbial Transglutaminase: Boon or Bane. *Nutrition reviews*.
7. Khan, M. U., Farid, A., Liu, S., Zhen, L., Alahmad, K., Chen, Z., & Kong, L. (2025). Innovative approaches for enzyme immobilization in milk processing: advancements and industrial applications. *Critical reviews in food science and nutrition*, 65, 6751 - 6770.
8. Aslam¹, M. U., Aslam¹, E., Shahbaz², M., Aslam, M. U., & Shahbaz, M. (2025). FOOD CHEMISTRY AND ENZYMATIC REACTIONS: UNDERSTANDING THE ROLE OF ENZYMES IN FOOD PROCESSING: A NARRATIVE REVIEW. *Insights-Journal of Health and Rehabilitation*.
9. Partichelli, C. P., Silveira, V. C., Manfroi, V., & Rodrigues, R. C. (2024). Exogenous enzymes for gluten-free beer production: A review of the industrial practice and its implications for scientific research. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*.
10. Xia, B., Abidin, M. R. Z., Wong, J., Dong, H., & Karim, S. A. (2025). Are Food Additives Utilized Judiciously? Novel Insights into Health Risks, Benefits, and Ethical Boundaries. *Food reviews international (Print)*, 42, 720 - 745.
11. 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*.
12. Yang, P., Wang, X., Ye, J., Rao, S., Zhou, J., Guo-Du, & Liu, S. (2023). Enhanced Thermostability and Catalytic Activity of Streptomyces mobaraensis Transglutaminase by Rationally Engineering Its Flexible Regions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*.


Skontaktuj się z Enzymes.bio


Masz pytania dotyczące zamówienia? Nasz zespół chętnie pomoże.

E-MAIL 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.