

# **Możliwości zastosowania transglutaminazy w celu kształtowania tekstury produktów mięsnych**

*Aneta Cegielka, Aneta Arciszewska*

*Zakład Technologii Mięsa, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego*

*ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa*

*e-mail: cegielka@alpha.sggw.waw.pl*

**Słowa kluczowe:** transglutaminaza, tekstura, sól kuchenna, fosforany, mięso restrukturyzowane, mięso PSE

Dodatki funkcjonalne są jednym z elementów decydujących o przyszłości technologii produkcji przetworów mięsnych [12]. Oprócz tradycyjnie stosowanych substancji dodatkowych, często jednak o korzystnie zmienionych właściwościach, przemysł mięsny coraz częściej sięga po związki dotychczas nie używane. Odnosi się to zarówno do dodatków pochodzenia roślinnego, jak i zwierzęcego, a także do tych, jakie na skalę przemysłową pozyskuje się na drodze biosyntezy mikrobiologicznej [12, 35], do których należą m.in. enzymy [42].

## **Transglutaminaza – właściwości i mechanizm działania**

---

Tendencja do upraszczania i skracania procesów przerobowych nie byłaby możliwa bez udziału handlowych preparatów enzymów, których stosowanie w przemyśle żywnościowym staje się wyznacznikiem nowoczesności [42]. W przemyśle mięsnym znajdowały do tej pory zastosowanie przede wszystkim preparaty proteaz, a ostatnio również transglutaminazy [17].

Preparaty zawierające jako aktywny składnik transglutaminazę zaliczyć należy do względnie nowych dodatków funkcjonalnych. Mimo, iż enzym ten – występujący naturalnie w tkankach zwierzęcych i roślinnych – znany jest od kilku dziesięcioleci, to praktyczne zastosowanie w przemyśle znalazł on dopiero po opracowaniu technologii jego otrzymywania na drodze mikrobiologicznej przez japońską firmę Ajinomoto (seria preparatów o wspólnej nazwie ACTIVA) [2, 22, 23, 30, 45].

Strukturotwórcza i wiążąca funkcja transglutaminazy w produkcji wyrobów mięsnych jest dobrze poznana. Charakterystyka ww. enzymu otrzymanego w procesie

mikrobiologicznej biosyntezy i reakcje przez niego katalizowane oraz ich znaczenie w przetwórstwie żywności są przedmiotem wielu opracowań, zarówno zagranicznych [2, 14, 25, 30, 45, 46], jak i polskich autorów [11, 21, 22].

Transglutaminaza (E.C. 2.3.2.13) jest transferazą noszącą systematyczną nazwę glutaminoamino  $\gamma$ -glutamylotransferazy. Enzym katalizuje reakcję przeniesienia reszt acylowych, których donorem są grupy  $\gamma$ -karboksamidowe wiązań peptydowych, a akceptorami mogą być pierwszorzędowe grupy aminowe obecne w różnych związkach chemicznych [30, 51].

Transglutaminaza, działając na białko, powoduje tworzenie między- i wewnątrzcząsteczkowych wiązań sieciujących pomiędzy resztami aminokwasów lizyny i glutaminy ( $\epsilon$ -( $\gamma$ -Glu)Lys) [14, 30]. Powstałe wiązania kowalencyjne są znacznie silniejsze niż siły stabilizujące żele utworzone z białek mięśniowych podczas ogrzewania, co w praktyce jest wykorzystywane do modyfikowania właściwości reologicznych białek obecnych w żywności [11, 12, 21, 23]. Wynikiem powstałych zmian strukturalnych w białkach mogą być nawet zupełnie inne właściwości produktu spożywczego [9, 22].

W praktyce przemysłowej stosowane są preparaty mikrobiologicznej transglutaminazy w postaci proszku, co nie utrudnia prowadzenia procesu technologicznego. Aktywność tego enzymu nie jest uzależniona od obecności jonów  $\text{Ca}^{++}$  w środowisku reakcji. Optimum jego aktywności mieści się w przedziale pH typowym dla większości procesów technologicznych stosowanych w przemyśle żywnościowym, tj. 5,8÷8,5. Transglutaminaza mikrobiologiczna odznacza się większą stabilnością cieplną (do 50°C) niż pozyskiwana z tkanek zwierzęcych. Inaktywacja enzymu, przy jego użyciu w przemyśle mięsnym, nie nastręcza trudności, ponieważ większość produktów mięsnych poddawanych jest ogrzewaniu do temperatury 68°C lub wyższej [2, 15, 23, 38].

W procesie produkcyjnym enzym ten jest dodawany do składników receptury podczas rozdrabniania, jak np. w produkcji kiełbas kutrowanych lub w czasie mieszania kawałków mięsa przy wytwarzaniu szynek. W procesie produkcji kiełbas wiążące działanie enzymu następuje w czasie osadzania batonów, a jest on inaktywowany podczas obróbki cieplnej, np. parzenia [30].

Przy użyciu preparatu transglutaminazy w składzie solanki peklującej, która zawiera białka, np. sojowe lub kazeinian, należy po jego dodaniu nastrzyknąć nią mięso jak najszybciej, tj. zanim rozpocznie się proces żelowania białek w solance, który może spowodować wzrost lepkości solanki utrudniający proces nastrzykiwania [23].

Wydaje się, iż nie wyczerpano jeszcze wszystkich potencjalnych możliwości zastosowania transglutaminazy w przemyśle spożywczym – w tym w przetwórstwie mięsa. Stwierdzono przydatność tego enzymu do sieciowania kazeiny, żelatyny, glutenu oraz białek serwatkowych, mięśniowych, sojowych, rybnych, jaja i in. [17, 21].

## **Możliwości wykorzystania transglutaminazy w przemyśle mięsnym**

---

Reakcje sieciowania cząsteczek białek katalizowane przez transglutaminazę stwarzają w przetwórstwie mięsa nowe możliwości jej zastosowania m.in. w zakresie produkcji wyrobów restrukturowanych, kształtowania tekstury kiełbas parzonych, z możliwością częściowego lub całkowitego wyeliminowania substancji pomocniczych stosowanych podczas kutrowania, zmniejszenia zawartości tłuszczu w produktach mięsnych w wyniku zastąpienia go białkiem niemięsnym poddanym modyfikacji enzymatycznej, szybkiego wykształcenia krajalnej tekstury kiełbas surowych, poprawy zwięzłości plastrów wędzonek, np. szynki gotowanej, przetwarzania surowców ubocznych, sieciowania osłonek wytwarzanych z kolagenu i żelatyny w celu zwiększenia ich stabilności cieplnej. Oznacza to najczęściej poprawę jakości zdrowotnej i/lub wyróżników sensorycznych całej gamy produktów mięsnych [6, 22].

Ponadto upowszechnienie stosowania tego enzymu prawdopodobnie umożliwi w przyszłości przynajmniej częściowe odstępianie od aktualnie stosowanej technologii masowania i/lub mieszania, a co najmniej znacząco ograniczy czas trwania tych zabiegów, m.in. przy wytwarzaniu przetworów restrukturowanych [12].

Transglutaminaza jest aktualnie wykorzystywana w praktyce przemysłowej do wytwarzania różnorodnych produktów, nawet z mięsa o obniżonej jakości technologicznej [44, 46]. Enzym ten jest stosowany w procesie produkcji wielu wyrobów mięsnych wytwarzanych z mięsa drobno, średnio i grubo rozdrobnionego, np. hamburgerów, kotletów, parówek, konserw itp., a także wyrobów produkowanych z całych mięśni, np. szynki. Finalne wyroby pod względem wyglądu, konsystencji, zapachu, smaku i wartości odżywczej nie odbiegają od analogicznych produktów wytwarzanych wyłącznie z wysokojakościowych gatunków mięsa [30]. Jednak w niektórych przypadkach niekorzystnym objawem poprawy konsystencji bloku mięsnego może być wzrost ilości wycieku termicznego. Potwierdzili to Olkiewicz i in. [31], przy wykorzystaniu mięsa PSE do produkcji szynki pasteryzowanej, stosując 0,1% dodatek preparatu transglutaminazy.

Transglutaminaza przyczynia się do zachowania pożądanego smaku i aromatu w wyrobach o podwyższonej wydajności, gdyż umożliwia zmniejszenie wielkości dodatku białek roślinnych. W wyniku zastosowania preparatów enzymatycznych, np. ACTIVA można zniwelować niekorzystne zmiany tekstury produktu mięsnego wyprodukowanego z surowca mrożonego [43].

## Wykorzystanie transglutaminazy do produkcji wyrobów restrukturowanych

W celu ekonomicznie opłacalnego zagospodarowania (przetworzenia) małych kawałków mięsa opracowano technologię wytwarzania produktów restrukturowanych (zespolonych). Związywanie kawałków mięsa przy zastosowaniu technologii konwencjonalnych uzyskiwane jest w wyniku ekstrakcji białek mięśniowych podczas masowania albo przy użyciu substancji dodatkowych zwiększających ich rozpuszczalność, często w powiązaniu z obróbką termiczną przetworu. Mięso rozdrobnione, np. splatekowane przy użyciu maszyny platekującej i zastosowaniu preparatu transglutaminazy, można uformować do postaci steków lub do innych kształtów imitujących wyrób naturalny [5]. Zastosowanie transglutaminazy umożliwia trwałe łączenie ze sobą rozdrobnionego mięsa uformowanego do żądanych postaci. Proces ten, z uwagi na szybkość przebiegu reakcji sieciowania białek musi być prowadzony w niskiej temp., tj.  $5\div 10^{\circ}\text{C}$ . Silne związanie wyrobu restrukturowanego lub bloku mięsa zostaje utrzymane podczas zamrażania i ogrzewania oraz krojenia [23, 24]. W pełni zadowalające efekty można osiągnąć stosując np. 0,1% lub mniejszy dodatek preparatu enzymatycznego równocześnie zwiększając ilość dodawanej soli kuchennej do mięsa do 3% albo wprowadzając inne białko będące dobrym substratem reakcji sieciowania. Kuraishi i in. [24] zalecają stosowanie preparatu transglutaminazy w ilości  $0,05\div 0,1\%$  oraz  $0,5\div 1,0\%$  kazeinianu sodu w procesie produkcji wyrobów restrukturowanych, nie wymagających zamrożenia przed ich przekazaniem do dystrybucji.

Rozdrobnione mięso, przed jego inkubowaniem z transglutaminazą, można również poddać działaniu wysokiego ciśnienia, np. rzędu 250–300 MPa, co zwiększa podatność miozyny na sieciowanie. Enzym, przy ciśnieniu do 300 MPa w temp.  $4^{\circ}\text{C}$ , nie uległ inaktywacji w procesie ciśnieniowania (presuryzacji) i był aktywny po zmniejszeniu ciśnienia [4].

Pszczoła [36] podaje, że transglutaminaza znajduje zastosowanie w procesie produkcji dużego asortymentu restrukturowanych przetworów z mięsa drobiu. Korzyści z tym związane to modyfikowanie tekstury, jędrności oraz zdolności utrzymywania wody przez wyrób gotowy oraz możliwość kształtowania konsumentcko atrakcyjnej postaci i wyróżników sensorycznych. Restrukturowane produkty z mięsa drobiowego z udziałem preparatów transglutaminazy mogą być marynowane, a następnie oferowane konsumentom w różnorodnej postaci, np. plasterkowane, porcjowane, formowane jako steki owijane boczkiem itp.. Również Kijowski i Richardson [18] informują, że zastosowanie transglutaminazy sprzyja wzrostowi zapotrzebowania na gotowe, schłodzone, surowe produkty z mięsa drobiu, które przed spożyciem są panierowane i poddawane obróbce cieplnej. Nowa metoda zakłada chemiczny sposób indukowania żelu, w miejsce cieplnego, tak by pożądaný stopień związania można było osiągnąć bez dodatku soli kuchennej i fosforanów.

Podjęmując produkcję wyrobów z mięsa drobiowego lub z jego udziałem konieczne jest uwzględnienie specyfiki tego surowca, związanej z jego składem chemicznym, właściwościami fizycznymi i przydatnością technologiczną [18]. Wyniki badań Cegiełki i in. [7] wykazały, iż możliwe jest zastosowanie dodatku transglutaminazy w produkcji parzonej szynki z mięsa kurcząt. Szynki wyprodukowane z dodatkiem 0,2 lub 0,25% preparatu transglutaminazy: ACTIVA WM i 0,14% fosforanów otrzymały wysokie noty w ocenie sensorycznej. Produkt wytworzony tylko z udziałem 0,25% preparatu enzymatycznego, tj. bez fosforanów, uznano za „mniej soczysty”. Korzystnej zmianie tekstury doświadczalnego produktu, uzyskanej w wyniku działania enzymu towarzyszył jednak niepożądany, choć nieznaczny wyciek podoślankowy, czego widocznym objawem były skupiska galarety. Transglutaminaza nie miała istotnego wpływu na barwę szynki, jednak parametr  $b^*$  barwy, tj. udział barwy żółtej w barwie produktu przyjmował nieco większe wartości średnie w przypadku szynki wytworzonej z większym dodatkiem preparatu enzymatycznego. Podobne zmiany w barwie, tj. zwiększenie składowej żółtej  $b^*$  barwy kielbasy imitującej salami wyprodukowanej z udziałem transglutaminazy stwierdzili Tyburcy i in. [40]. Modyfikacja barwy, wg ww. autorów, polegała najprawdopodobniej na zmianie warunków odbicia światła od powierzchni kielbasy w wyniku reakcji sieciowania białek katalizowanej przez transglutaminazę.

## **Zastosowanie transglutaminazy w produkcji wyrobów o obniżonej wielkości dodatku substancji chemicznych lub zmniejszonej zawartości tłuszczu**

### **Wyroby o obniżonej wielkości dodatku soli kuchennej**

Transglutaminaza jest pomocna w kształtowaniu tekstury produktów mięsnych z obniżoną ilością soli kuchennej. Tseng i in. [44] zaobserwowali wzrost siły związania farszów nisko solonych (1% NaCl), wytworzonych z rozdrobnionego mięsa pierśowego kurcząt, zawierających dodatek preparatu transglutaminazy. Dodatek enzymu nie różnicował: wyglądu, barwy i zapachu gotowego produktu, którym były kulki z mięsa drobiowego, jednak produkt z udziałem już 0,1% preparatu transglutaminazy uzyskał, w ocenie sensorycznej, istotnie wyższe noty za teksturę i soczystość oraz odznaczał się większą ogólną akceptowalnością. Na zdjęciach obrazujących mikrostrukturę farszów doświadczalnych zaobserwowano, że struktura farszu kontrolnego była wyraźnie „luźniejsza” i „mniej uporządkowana” niż farszów wytworzonych z mniejszą ilością soli kuchennej, lecz zawierających dodatek transglutaminazy.

Podobnie Pietrasik i Li-Chan [34] w badaniach przeprowadzonych z użyciem farszów z mięsa wieprzowego podjęli próbę przeciwdziałania ich niekorzystnej teksturze, objawiającej się pogorszeniem jej wyróżników, jak też istotnym zwiększeniem

ubytków po obróbce termicznej, spowodowanych recepturową redukcją dodatku NaCl z 2,0 do 0,0%. Zastosowany dodatek transglutaminazy (do 0,6%) pozwolił na ograniczenie ubytków cieplnych z farszów nisko solonych przy równoczesnej poprawie parametrów ich tekstury mierzonych instrumentalnie. Wartości parametrów tekstury oznaczone w odpowiednio przygotowanych próbkach farszów, poddanych uprzedniej obróbce termicznej w próbkach plastikowych, były zbliżone do tych, jakimi charakteryzowały się farsze kontrolne, tj. zawierające dodatek 2,0% NaCl.

W badaniach Arciszewskiej i in. [3], wykonanych z użyciem modelowych farszów z mięśni udowych kurcząt z obniżoną ilością soli kuchennej, tj. 1,5% i o zróżnicowanym stopniu rozdrobnienia i czasie działania transglutaminazy stwierdzono, że zwiększenie wielkości dodatku preparatu enzymatycznego z 0,2% do 0,3% oraz wydłużenie czasu działania enzymu z 30 min do 4 lub 24 h powodowało wzrost ilości wycieku po obróbce termicznej przy równoczesnym wzmocnieniu tekstury farszów. Twardość farszów mierzona instrumentalnie rosła ponadto wraz ze wzrostem stopnia rozdrobnienia mięsa, niezależnie od czasu trwania reakcji enzymatycznej. Wydłużanie czasu działania enzymu powyżej 4 h, równoznaczne z czasem peklowania mięsa, nie powodowało dalszej, wyraźnej poprawy oznaczanych parametrów jakościowych.

W celu zapobieżenia ewentualnemu osłabieniu tekstury szynki z mięsa kurcząt produkowanej z obniżoną ilością soli kuchennej do 1,5% można stosować dodatek 0,2% preparatu transglutaminazy. Równoczesne użycie fosforanów w ilości 0,15% w stosunku do masy produktu sprzyja zachowaniu pożądanej soczystości produktu nisko solonego [8].

### Wyroby o obniżonym dodatku fosforanów

Stwierdzono, że użycie preparatów transglutaminazy przyczynia się do zmniejszenia bądź wyeliminowania dodatku fosforanów w procesie wytwarzania produktów mięsnych [12, 23]. Stosując łączny dodatek enzymu (0,0÷0,2%) oraz difosforan sodu (0,0÷0,25%) w produkcji kielbasy parzonej drobno rozdrobnionej, nie zaobserwowano żadnych efektów wzmocnienia bądź osłabienia wzajemnego działania tych substancji względem siebie. Obydwie ww. substancje powodowały wzrost twardości kielbasy, jednak transglutaminaza oddziaływała 2÷3 razy efektywniej niż difosforan. Zwiększenie wielkości dodatku difosforanu sodu powyżej 0,19% nie powodowało już praktycznie żadnego istotnego wzrostu twardości parówek, natomiast stwierdzono efekt utwardzenia tekstury w wyniku stopniowego zwiększania dawki preparatu enzymatycznego, niezależnie od obecności difosforanu. Rezultaty działania enzymu przy dodatku 0,2% były jednak zauważalne w przypadku surowych farszów kielbasianych, które charakteryzowały się m.in. prawie dwukrotnie większą lepkością początkową w porównaniu do farszów kontrolnych [15].

W Japonii oferuje się wyroby o zmniejszonej zawartości soli kuchennej lub fosforanów, które są produkowane przy użyciu preparatów transglutaminazy. Dzięki ich zastosowaniu w kielbasach o obniżonej zawartości chlorku sodu z 1,7÷0,4% udało się zapobiec pogorszeniu parametrów tekstury. Powiodła się również próba wzmocnienia tekstury parówek produkowanych z mięsa świń, z farszu których wycofano 0,3%

fosforanów, które zastąpiono 0,25% dodatkiem preparatu transglutaminazy [23]. Redukcja wielkości dodatku fosforanów o połowę (z 0,38÷0,19%) okazała się również możliwa w przypadku frankfurtek wytwarzanych wg tzw. „taniej receptury”, ale z dodatkiem transglutaminazy. Nie stwierdzono żadnego niepożądanego wpływu dodatku enzymu na przebieg procesu produkcji oraz na wydajność gotowego wyrobu. Uzyskano natomiast poprawę tekstury kiełbasy oznaczanej zarówno metodą instrumentalną, jak i sensorycznie. Doświadczalny produkt wyżej oceniono m.in. za takie wyróżniki jak kruchość i soczystość [1].

Podobnie, wyniki badań Nielsena i in. [30], sugerują istnienie „uzupełniającego” oddziaływania pomiędzy solą kuchenną, fosforanami a transglutaminazą. W praktyce oznacza to możliwość zmniejszenia w przetwórstwie mięsa wielkości dodatku dwóch pierwszych związków. Mierzona instrumentalnie twardość modelowego produktu z mięsa wieprzowego symulującego produkt restrukturyzowany była dodatnio skorelowana z zawartością soli kuchennej (0,0÷3,0%), a użycie preparatu transglutaminazy powodowało dodatkowy jej wzrost. W pełni zadowalające rezultaty uzyskano stosując dodatek fosforanu nie większy niż 0,2%.

### Wyroby o obniżonej zawartości tłuszczu

Innym kierunkiem wykorzystania transglutaminazy może być produkcja niektórych asortymentów kiełbas, m.in. typu „Bolonia” i „Salami” o obniżonej do 16–19% ilości tłuszczu (produkt oryginalny zawiera odpowiednio ok. 29 i 42% tłuszczu). Do receptury kiełbas w miejsce zmniejszonej ilości tłuszczu zwierzęcego wprowadza się: kazeinian sodowy poddany uprzednio działaniu ww. enzymu i karagen [22].

Nadmierna zawartość tłuszczu śródmięśniowego oraz tkanki łącznej jest, zdaniem konsumentów, jednym z głównych niekorzystnych i niepożądanych wyróżników wyrobów stekopodobnych, restrukturyzowanych wytwarzanych z niehandlowych surowców wołowych, znajdujących się w obrocie detalicznym w USA. Podjęmowane próby wytworzenia ww. produktu z kawałków mięsa pozbawionych w znacznym stopniu tych niepożądanych „składników” polegały na wprowadzeniu dodatku białka mięsnego w celu zapewnienia dostatecznego związania wyrobu finalnego. Lepsze rezultaty uzyskano stosując w tym celu preparat transglutaminazy w ilości 0,2% w stosunku do masy surowca mięsnego, nanoszony rozpyłowo, z łącznym dodatkiem kazeinianu sodu. W tak przygotowanych stekach o obniżonej zawartości tłuszczu i tkanki łącznej zwiększono udział mięsa chudego, a produkty uzyskały wyższe noty w ocenie sensorycznej za takie wyróżniki jakości jak: kruchość, soczystość, smakowitość [20].

## Wykorzystanie transglutaminazy do produkcji przetworów z surowca o niższej jakości technologicznej

---

W oparciu o wyniki badań Dolaty i in. [10] należy wnioskować, że właściwości transglutaminazy mogą być z powodzeniem wykorzystane w procesie produkcji wyrobów mięsnych, w których część wsadu surowcowego stanowi surowiec o gorszych właściwościach technologicznych. Dodatek transglutaminazy już w ilości 0,1% w stosunku do masy surowców miał istotny wpływ na instrumentalnie ocenianą poprawę konsystencji kielbasy drobno rozdrobnionej typu parówki, zawierającej w składzie recepturowym mięso mechanicznie odzyskane.

Produkowanie wędzonek, np. szynki parzonej z wadliwego mięsa stwarza wiele problemów technologicznych, a przy znacznym nasileniu wady PSE wręcz taką produkcję wyklucza. Przy nieznacznym nasileniu wadliwości mięsa PSE niezbędne jest stosowanie substancji dodatkowych przeciwdziałających m.in. nadmiernym ubytkom cieplnym. Wyniki badań Müllera [28] ilustrują wpływ dodatku fosforanów w ilości 0,05 lub 0,4% i 0,05 lub 0,1% transglutaminazy na jakość szynki gotowanej wytworzonej z surowca o obniżonej jakości technologicznej (pH 5,8). Autor stwierdził, że zastosowanie w procesie produkcji szynki gotowanej dodatku nawet obu substancji pomocniczych nie jest w stanie całkowicie zapobiec wytworzeniu z takiego surowca produktu wadliwego. Polepszenie konsystencji uzyskano jednak w wyniku zastosowania mniejszych dawek obu wymienionych substancji lub tylko preparatu transglutaminazy (bez fosforanów), natomiast, jeśli celem ma być równoczesne zwiększenie wydajności produktu finalnego, zaleca się dodatek fosforanów w ilości 0,4% w stosunku do masy gotowego wyrobu.

## Modyfikowanie przebiegu lub usprawnienie procesów przetwórczych z wykorzystaniem transglutaminazy

---

Użycie preparatów transglutaminazy może przyczynić się do usprawnienia procesu produkcji kielbas. Tyburcy i in. [40] podjęli próbę modyfikacji procesu produkcji niezakwaszanej suszonej kielbasy imitującej salami polegającą na zmniejszeniu udziału niemrożonego surowca mięsnego, pełniącego rolę tzw. masy wiążącej w recepturze z 30 do 10% i wprowadzeniu dodatku 2% błonnika pszennego lub 0,4% preparatu transglutaminazy. W całym okresie dojrzewania nie zaobserwowano istotnego wpływu dodatku wymienionych substancji na wydajność gotowego wyrobu, lecz przy mniejszej ilości masy wiążącej w recepturze dodatek transglutaminazy spowodował wzrost twardości kielbasy, który jednak nie utrudniał późniejszego, maszynowego plasterkowania batonów. Mimo że nie skompensował on całkowicie osłabienia tekstury produktu, która została spowodowana przez wycofanie części niemrożonej

wołowiny, autorzy uznali zaobserwowany efekt za pozytywny, gdyż w przypadku tego typu produktów wzrostowi twardości mierzonemu instrumentalnie odpowiadają zwykle wyższe noty za teksturę uzyskiwane w ocenie sensorycznej.

Pożądany efekt uzyskać można wprowadzając oprócz enzymu dodatek innej substancji o właściwościach teksturotwórczych lub pozytywnie wpływającej na wiązanie wody w produkcie finalnym. Zdaniem Ostrowskiej i in. [32] łączny dodatek 0,2% transglutaminazy 0,3% i kappa karagenu powodował ograniczenie ilości wycieku termicznego z drobno rozdrobnionych farszów wyprodukowanych z mięsa wieprzowego oraz zwiększenie ich twardości po obróbce termicznej, niezależnie od czasu działania enzymu, tj. 1 lub 2 h i temperatury ogrzewania, 68 lub 72°C.

Kappa karagen okazał się również czynnikiem, który w głównej mierze wpływał na ograniczenie wielkości ubytków cieplnych i strat przechowalniczych w farszach z mięsa wołowego. Równoczesny dodatek transglutaminazy w ilości 0,5% nie powodował zwiększenia ubytków masy tych farszów, lecz w farszach bez udziału karagenu nie stwierdzono wpływu enzymu na zwiększenie zdolności utrzymywania wody w ich strukturze [33].

Podobną tendencję, tj. brak negatywnego wpływu dodatku transglutaminazy (0,0÷0,6%) na wielkość wycieku termicznego w żelach wytworzonych z białek wyizolowanych z mięsa wieprzowego, zaobserwowano w innych badaniach. Poprawę właściwości reologicznych stwierdzono zwłaszcza w przypadku żeli zawierających równoczesny dodatek plazmy krwi [16].

Przewiduje się, że upowszechnienie stosowania transglutaminazy przez przemysł produkcji konserw mięsnych przyniesie wymierne korzyści wyrażające się wysoką jakością tego asortymentu wyrobów mięsnych. Mroczek i in. [26] stwierdzili wzrost siły penetracji i polepszenie zwięzłości wytworzonej z dodatkiem 0,25% preparatu transglutaminazy konserwy wieprzowej typu mielonka, zarówno poddanej pasteryzacji, jak i sterylizacji. Ilość wycieku termicznego była przy tym różnicowana tylko przez rodzaj obróbki termicznej konserw, a niezależna od dodatku transglutaminazy.

## **Inne możliwości wykorzystania transglutaminazy w przemyśle mięsnym**

---

Użycie transglutaminazy stwarza również możliwość znaczącego zwiększenia wykorzystania ubocznych jadalnych surowców przemysłu mięsnego, takich jak np. pozostałości mięsa na kruszu kostnym po mechanicznym odmięśnieniu kości, struktur łącznotkankowych, białek krwi itp. Surowce te mogą być poddawane modyfikacjom na drodze enzymatycznej, hemoglobina zaś może znaleźć dodatkowe zastosowanie jako przeciwutleniacz [30].

Podobnym zabiegom poddawane mogą być również dodatki wprowadzane w recepturowy skład surowcowy produktów mięsnych, np. różne postacie białek roślin-

nych. Białko takie użyte jako zamiennik mięsa ma za zadanie stabilizowanie matrycy, odpowiedzialnej za właściwości strukturalne produktu. I tak np. w celu nadania typowej, właściwej dla mięsa tekstury, tj. włóknistości, przy użyciu transglutaminazy modyfikowano teksturowane białka soi. W wyniku reakcji enzymatycznej cząsteczki białek sojowych ulegały „wydłużeniu”, upodabniając się pod względem budowy do białek mięśniowych. [41]. W innych badaniach stwierdzono, że hydrolizaty białek sojowych, poddane polimeryzacji przy udziale tego enzymu zachowywały rozpuszczalność, mimo, że składały się z frakcji o większej masie cząsteczkowej w porównaniu z białkiem natywnym. Ponadto poprawie uległy właściwości funkcjonalne – przede wszystkim emulgujące i pianotwórcze, tych białek przy równoczesnym wyeliminowaniu posmaku kwaśnego hydrolizatu [13].

Stwierdzono również, że żele z białek soi otrzymane na drodze enzymatycznej cechowały się większą twardością i elastycznością w porównaniu z uzyskiwanymi w wyniku ogrzewania. Natomiast w obrazie mikroskopowym zaobserwowano, że sieć przestrzenna żeli białkowych utworzonych w wyniku reakcji katalizowanej przez transglutaminazę zbudowana była z większych podjednostek niż w przypadku żeli indukowanych termicznie [9].

Izolaty i koncentraty białek soi znajdują zastosowanie w przetwórstwie mięsa drobiowego ze względu na ich przetwórczo korzystne właściwości funkcjonalne, m.in. takie jak: zdolność do emulgowania tłuszczu, ograniczanie ubytków cieplnych, wspomaganie żelowania białek mięśniowych, stabilizowanie emulsji farszów po ogrzaniu i pozytywny wpływ na jakość finalnego produktu mięsnego. Transglutaminaza jest katalizatorem reakcji pomiędzy białkami mięśniowymi (wyizolowanymi z mięśnia piersiowego kurcząt) a białkami sojowymi. Zostało to potwierdzone w badaniach modelowych prowadzonych w różnych warunkach procesowych (zmiana stosunku ilościowego białek-substratów, zróżnicowanie siły jonowej środowiska i/lub wstępne modyfikowanie białek sojowych). Dodatek preparatu enzymatycznego powodował wzrost elastyczności żeli białkowych, niezależnie od czasu trwania reakcji enzymatycznej (0,5 lub 4 h) [37].

Muguruma i in. [27], do produkcji kiełbasy drobiowej wykorzystali biopolimery białek nie mięsnych otrzymane na drodze reakcji sieciowania. Kazeinian sodu oraz białka sojowe poddane uprzednio działaniu transglutaminazy odznaczały się lepszą stabilnością cieplną i właściwościami emulgującymi. Pozwoliło to wzmocnić teksturę kiełbasy drobiowej mimo ograniczenia wielkości dodatku tripolifosforanu sodu z 0,2 do 0,05%.

Wykorzystując pozytywną interakcję między kazeinianem sodu a białkami mięśniowymi poddanymi działaniu transglutaminazy, podjęto próbę wyprodukowania kebabu z restrukturowanego mięsa drobiowego. Oznaczone instrumentalnie parametry tekstury gotowego wyrobu oraz wyniki oceny sensorycznej wskazywały na pozytywny wpływ enzymu (1%) na jego jakość, a efektywność działania transglutaminazy dodatkowo zwiększała się w obecności kazeinianu (0,5%). Ponadto zaobserwowano,

że preparat transglutaminazy skutecznie wspomagał uformowanie bloku mięsnego o pożądanej teksturze produkowanego z nieregularnych kawałków mięsa piersiowego indyków i kurcząt [19].

---

## Podsumowanie

Stosowanie transglutaminazy w przetwórstwie mięsa w Polsce jest nieporównywalnie mniej powszechne aniżeli w krajach azjatyckich i w Europie Zachodniej.

W celu sprostania konkurencji przemysłu mięsnego państw Unii Europejskiej można jednak, a nawet należy przewidywać, większe zainteresowanie krajowych producentów mięsnych stosowaniem preparatów transglutaminazy.

Głównymi korzyściami wynikającymi z zastosowania tego enzymu w przetwórstwie mięsa są: kształtowanie wyróżników sensorycznych produktów mięsnych, a przede wszystkim ich tekstury, oraz możliwość redukcji wielkości dodatku soli kuchennej i/lub fosforanów, co jest równoznaczne ze zwiększeniem wartości zdrowotnej takich przetworów. Ponadto użycie transglutaminazy otwiera nowe drogi w kierunku racjonalnego wykorzystania surowca mięsnego o obniżonej jakości technologicznej, np. mięsa PSE lub mięsa odzyskanego mechanicznie, umożliwiając wytworzenie produktów restrukturyzowanych o określonym kształcie i pożądanej teksturze. Ich wygląd i jakość nie odbiegają od podobnych produktów z pełnowartościowego surowca, wytworzonych według tradycyjnych technologii. Dla producentów nie bez znaczenia jest możliwość uproszczenia procesu produkcyjnego, np. w wyniku skrócenia czasu trwania procesu masowania. Wzrostowi zainteresowania stosowaniem transglutaminazy powinna także sprzyjać tendencja do ograniczania stosowania w produkcji żywności substancji otrzymanych w wyniku syntezy chemicznej na korzyść bardziej „naturalnych”, do których należą te wytwarzane w procesach biosyntezy. Potencjalne możliwości rozszerzenia zakresu stosowania preparatów transglutaminazy tkwią ponadto w rozszerzeniu asortymentu restrukturyzowanych przetworów mięsnych, stosunkowo mało jeszcze upowszechnionych w Polsce.

---

## Literatura

- [1] Anon. Danish Meat Research Institute: 1998. Testing ACTIVA WM from Ajinomoto in a Danish frankfurter.
- [2] Ando H., Adachi M., Umeda K., Matsuura A., Nonaka M., Uchio R., Tanaka H., Motoki M. 1989. Purification and characteristics of a novel transglutaminase derived from microorganisms. *Agric. Biol. Chem.* 53(10): 2613–2617.

- [3] Arciszewska A., Cegielka A. 2003. Wpływ wielkości dodatku i czasu działania transglutaminazy oraz stopnia rozdrobnienia mięsa na właściwości farszów drobiowych z obniżoną zawartością soli kuchennej. *Żywn. Nauka. Techn. Jakość* 10 2(35) Supl.: 9–18.
- [4] Ashie I.N.A., Lanier T.C. 1999. High pressure effects on gelation of surimi and turkey breast muscle enhanced by microbial transglutaminase. *J. Food Sci.* 64(4): 704–708.
- [5] Branscheid W. 2004. Zukunftsperspektiven für Fleisch und Fleischerzeugnisse. *Fleischwirtschaft* 84(5): 213–216.
- [6] Buckenhüskes H.J. 2000. Enzyme in der Fleischverarbeitung. *Fleischwirtschaft* 80(3): 29–33.
- [7] Cegielka A., Gzocha R., Mroczek J. 2004. Wpływ dodatku transglutaminazy i fosforanów na jakość szynki z kurcząt. *Gosp. Mięsna* 56(5): 18–24.
- [8] Cegielka A., Kosmala A., Mroczek J. 2001. Wpływ dodatku transglutaminazy i fosforanów na jakość szynki drobiowej z obniżoną ilością soli kuchennej. Materiały XXXII Sesji Naukowej KTChiŻ PAN, Warszawa, (płyta CD).
- [9] Chanyongvorakul Y., Matsumura Y., Nonaka M., Motoki M., Mori T. 1995. Physical properties of soy bean and broad bean S11 globulin gels formed by transglutaminase reaction. *J. Food Sci.* 60(3): 483–488, 493.
- [10] Dolata W., Piotrowska E., Chlebowska M., Dziubata K. 2001. Ocena tekstury kiełbasy drobno rozdrobnionej z dodatkiem transglutaminazy. Materiały XXXII Sesji Naukowej KTChiŻ PAN, Warszawa, (płyta CD).
- [11] Domagała J. 2001. Możliwości zastosowania mikrobiologicznej transglutaminazy w mleczarstwie. *Przem. Spoż.* 55(11): 36–48.
- [12] Duda Z. 1998. Technologia mięsa w perspektywie XXI wieku – wybrane zagadnienia. *Gosp. Mięsna* 50(12): 46–50.
- [13] El Faldil E.B., Khan M.A.S., Matsudomi N., Kato A. 1996. Polymerization of soy protein digests by microbial transglutaminase for improvement of the functional properties. *Food Res. Int.* 29: 627–634.
- [14] Gerrard J.A. 2002. Protein – protein crosslinking in food: methods, consequences, applications. *Trends in Food Sci. & Technol.* 13: 389–397.
- [15] Hammer F.G. 1998. Mikrobielle Transglutaminase und Diphosphat bei feinzerkleinerter Brühwurst. *Fleischwirtschaft* 78(11): 1155–1162.
- [16] Jarmoluk A., Pietrasik Z. 2003. Response surface methodology study on the effects of blood plasma, microbial transglutaminase and  $\kappa$ -carrageenan on pork batter gel properties. *J. Food Eng.* 60: 327–334.
- [17] Kalinowska H., Turkiewicz M., Bielecki S. 2000. Enzymy nowej generacji w produkcji żywności. *Przem. Spoż.* 54(10): 3–5.
- [18] Kijowski J., Richardson I. 1997. Przetwórcze wykorzystanie mięsa drobiowego. *Mięso i Wędliny* 5: 56–62.
- [19] Kilic B. 2003. Effect of microbial transglutaminase and sodium caseinate on quality of chicken döner kebab. *Meat Sci.* 63: 417–421.
- [20] Kolle D.S., Savell J.W. 2003. Using Aactiva TG-RM to bind beef muscles after removal of excessive seam fat between the m. longissimus thoracis and m. spinalis dorsi and heavy connective tissue from within the m. infraspinatus. *Meat Sci.* 64: 27–33.
- [21] Kołakowski E., Sikorski Z.E. 2001. Transglutaminaza i jej wykorzystanie w przemyśle żywnościowym. *Żywn. Nauka. Techn. Jakość* 8, 2(27): 5–16.

- [22] Krakowiak A., Czakaj J. 1999. Niektóre zastosowania mikrobiologicznej transglutaminazy w przemyśle spożywczym. *Przem. Spoż.* 53(1): 36–38.
- [23] Kuraishi C., Sakamoto J., Soeda T. 1998. Anwendung von Transglutaminase für die Fleischverarbeitung. *Fleischwirtschaft* 78(6): 657–658, 660, 702.
- [24] Kuraishi C., Sakamoto J., Yamazaki K., Susa Y., Kuhara C., Soeda T. 1997. Production of restructured meat using microbial transglutaminase without salt or cooking. *J. Food Sci.* 62(3): 488–490, 515.
- [25] Motoki M., Seguro K. 1998. Transglutaminase and its use for food processing. *Trends in Food Sci. & Technol.* 9: 204–210.
- [26] Mroczek J., Cegiełka A., Drabowicz J. 2001. Wpływ dodatku transglutaminazy i warunków obróbki termicznej na jakość konserwy mięsnej. Materiały XXXII Sesji Naukowej KTChiŻ PAN, Warszawa, (płyta CD).
- [27] Muguruma M., Tsuruoka K., Katayama K., Erwanto Y., Kawahara S., Yamauchi K., Sathe S.K., Soeda T. 2003. Soybean and milk proteins modified by transglutaminase improves chicken sausage texture even at reduced levels of phosphate. *Meat Sci.* 63: 191–179.
- [28] Müller W.-D. 2003. Verwendung von Phosphat und Transglutaminase. Einfluss auf Qualitätsparameter von Kochschinken. *Fleischwirtschaft* 83(10): 114–117.
- [29] Nielsen G.S., Petersen B.R., Moller A.J. 1995. Impact of salt, phosphate and temperature on the effect of a transglutaminase (F XIIa) on the texture of restructured meat. *Meat Sci.* 41: 293–299.
- [30] Nielsen P.M. 1995. Reactions and potential industrial applications of transglutaminase. Review of literature and patents. *Food Biotechnol.* 9(3): 119–156.
- [31] Olkiewicz M., Pospiech E., Grześ B., Kłossowska B. 2004. Improvement of properties of products made from PSE meat by addition of sodium caseinate and MTGase. Proc. 50th International Congress of Meat Science and Technology (ICoMST), Helsinki, Finlandia, 937–940 (płyta CD).
- [32] Ostrowska A., Dąbrowska M., Mroczek J. 2001. Wpływ dodatku transglutaminazy, karagenu i białka sojowego na właściwości farszów drobno rozdrobnionych. Materiały XXXII Sesji Naukowej KTChiŻ PAN, Warszawa, (płyta CD).
- [33] Pietrasik Z. 2003. Binding and textural properties of beef gels processed with  $\kappa$ -carrageenan, egg albumin and microbial transglutaminase. *Meat Sci.* 63: 317–324.
- [34] Pietrasik Z., Li-Chan E.C.Y. 2002. Response surface methodology study on the effects of salt, microbial transglutaminase and heating temperature on pork batter gel properties. *Food Res. Int.* 35: 387–396.
- [35] Pszczola D.E. 2001. From soybeans to spaghetti: the broadening use of enzymes. *Food Technol.* 55(11): 54, 56, 58, 60–62.
- [36] Pszczola D.E. 2002. Beefing up innovations for meat and poultry ingredients. *Food Technol.* 56(3): 54, 56, 58, 60, 62–66, 79.
- [37] Ramírez-Suárez J.C., Xiong Y.L. 2003. Effect of transglutaminase – induced cross – linking on gelation of myofibrillar/soy protein mixtures. *Meat Sci.* 65: 899–907.
- [38] Sakamoto H., Kumazawa Y., Motoki M. 1994. Strength of protein gels prepared with microbial transglutaminase as related to reaction conditions. *J. Food Sci.* 59(4): 866–871.
- [39] Tseng T.-F., Liu D.-C., Chen M.-T. 2000. Evaluation of transglutaminase on the quality of low salt chicken meat balls. *Meat Sci.* 55: 427–431.

- [40] Tyburcy A., Ćwiek J., Adamczak L. 2003. Wpływ preparatu błonnika pszennego i transglutaminazy oraz stopnia rozdrobnienia surowca mięsnego na właściwości kiełbasy imitującej salami. *Żywn. Nauka. Techn. Jakość* 10 1(34): 72–79.
- [41] Vösgen W. 2002. Es geht auch ohne Fleisch. *Fleischwirtschaft* 82(3): 46–50.
- [42] Warchalewski J.R. 2001. Zastosowanie enzymów w produkcji żywności na przełomie wieków. *Przem. Spoż.* 55(8): 40–44.
- [43] Weber H.: 1998. Technologische und mikrobiologische Aspekte bei der Entwicklung von Tiefkühlkost. *Fleischwirtschaft* 78(9): 960–961.
- [44] Wilson S. 1993. Crosslinking of meat proteins for products. *Food Technol.* 23(4): 36–38.
- [45] Zhu Y., Rinzema A., Bonarius H.P.J., Tramper J., Bol J. 1989. Microbial transglutaminase production by *Streptomyces mobaraense*: Analysis of amino acid metabolism using mass balances. *Enzyme and Microb. Technol.* 23: 216–228.
- [46] Zhu Y., Rinzema A., Tramper J., Bol J. 1995. Microbial transglutaminase – a review of its production and application in food processing. *App. Microbial. Biotechnol.* 44: 277–282.

## The possibilities of transglutaminase application for improving the texture of meat products

---

**Key words:** transglutaminase, texture, sodium chloride, phosphates, restructured meat, PSE meat

### Summary

The paper aimed to present the literature review on the possibilities of microbial transglutaminase application in meat processing. Some characteristics of transglutaminase and the mechanism of cross-linking reaction between muscle proteins catalyzed by this enzyme and protein gel formation were briefly described. Examples of using transglutaminase in meat processing were given. The main advantage of transglutaminase application consists in the possibility of improving texture of meat products, the enzyme enables also to reduce the salt (sodium chloride) and phosphates contents in meat products without negative impact on texture what means an improving in health quality of such products. Other potential applications of transglutaminase include simplification of some technological processes and production of restructured meat products. The application of transglutaminase is also recommended to improving the quality of products made of PSE meat and modifying of non-meat proteins.