

ALEKSANDRA SADOWSKA, ANNA DIOWKSZ

WŁAŚCIWOŚCI TRANSLUTAMINAZY I JEJ ROLA W PIEKARSTWIE

Streszczenie

Zmniejszenie spożycia pieczywa wynikające ze zmiany trendów dietetycznych wpływa na poszukiwanie rozwiązań technologicznych satysfakcjonujących zarówno konsumentów, jak i producentów. Jedną z propozycji jest wykorzystanie właściwości transglutaminazy. Jej zastosowanie może przyczynić się do uzyskania pieczywa o nowej, wysokiej jakości.

Transglutaminaza (TG) to enzym wykazujący zdolność do modyfikacji białek, przez co jest atrakcyjną substancją dodatkową o znaczeniu technologicznym dla przemysłu spożywczego. W pracy dokonano przeglądu właściwości tego enzymu ze szczególnym uwzględnieniem zalet jego stosowania w piekarstwie. TG wywiera korzystny wpływ na jakość pieczywa, między innymi poprawia wygląd zewnętrzny, zwiększa objętość właściwą oraz wpływa na większą homogenność porów miękiszu. Dodatek TG zwiększa wydajność pieczywa przy zachowaniu tzw. czystej etykiety. Transglutaminaza wpływa także na podwyższenie jakości wyrobów bezglutenowych, a w wyniku katalizowanych przez enzym reakcji możliwe jest zmniejszenie alergenicności i nietolerancji konwencjonalnego pieczywa.

Słowa kluczowe: transglutaminaza, pieczywo, „czysta etykieta”, dodatki piekarskie

Wprowadzenie

Pomimo wielowiekowej tradycji znaczącej pozycji chleba w polskiej diecie, obecnie wielu konsumentów ogranicza spożycie lub wręcz rezygnuje z pieczywa w codziennym jadłospisie. Według danych GUS, w ostatnich 20 latach konsumpcja pieczywa zmalała o ok. 40 %. Do głównych czynników, które na to wpływają, należy zaliczyć zmieniające się trendy żywieniowe, ale też kwestie ekonomiczne. Coraz mniejsze spożycie chleba jest niezgodne z zaleceniami żywieniowymi i wpływa nega-

tywnie na stan zdrowia społeczeństwa, ale również powoduje wzrastające straty piekarzy [8, 12].

Poszukuje się więc nowych rozwiązań technologicznych. Celem tych poszukiwań jest produkcja wyrobów o wysokiej jakości i atrakcyjności konsumenckiej przy jak najmniejszych nakładach finansowych. Ze względu na wysoką kosztocłonność produkcji tradycyjnych wyrobów piekarskich coraz częściej wprowadza się dodatki technologiczne, które mają pozwolić na uzyskanie atrakcyjnego produktu przy obniżonych kosztach. Na podstawie Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 22 listopada 2010 r. w sprawie dozwolonych substancji dodatkowych (Dz. U. 2010. Nr 232, poz. 1525) [41] dopuszczone do stosowania zostały substancje naturalne, chemiczne i enzymatyczne. Niektóre z nich dodawane są do mąki, inne podczas wyrabiania ciasta, a wszystkie mają na celu poprawę jakości wyrobów piekarskich [17].

Jednak obserwowane zmiany trendów konsumenckich wskazują na wzrost zainteresowania powrotem do tradycyjnych receptur i unikanie syntetycznych dodatków chemicznych [27]. Wynika to z rosnącej świadomości społeczeństwa i chęci prowadzenia zdrowego trybu życia. Wymaga to ze strony przemysłu piekarskiego wdrażania nowych rozwiązań technologicznych, które zaspokoją oczekiwania klientów, czego wyrazem jest tzw. czysta etykieta [10, 26]. Taka etykieta to deklaracja producenta wskazująca na rezygnację ze stosowania substancji dodatkowych, takich jak polepszacze czy środki konserwujące.

Nowoczesnym rozwiązaniem jest stosowanie preparatów enzymatycznych. Pod wpływem działania wysokiej temperatury na etapie wypieku enzymy ulegają degradacji i jako naturalne białko nie wymagają umieszczenia ich w składzie na etykiecie wyrobu. Jednocześnie ze względu na różnorodność dostępnych preparatów możliwe jest uzyskanie wielu korzyści. Najważniejsze z nich to: przyspieszanie procesów technologicznych, podwyższanie jakości i atrakcyjności produktów, przedłużanie ich trwałości, a przede wszystkim zwiększanie wydajności procesów oraz zmniejszanie kosztów wytwarzania [31, 39]. Takimi możliwościami cechuje się transglutaminaza, dzięki czemu stała się atrakcyjnym dodatkiem piekarskim.

Celem pracy było przedstawienie właściwości i zalet transglutaminazy jako dodatku technologicznego stosowanego w piekarstwie.

Transglutaminaza

Transglutaminaza stała się przedmiotem intensywnych badań pod koniec lat 80. XX wieku. Zainteresowanie to spowodowane było szerokim występowaniem tego białka w przyrodzie [33].

Transglutaminaza (TG) to enzym z klasy transferaz. W ludzkim organizmie katalizuje wiele procesów, m.in. jako tzw. czynnik XIIIa odpowiada za krzepnięcie krwi, gojenie się tkanek czy rogowacenie naskórka [7, 25, 40]. Pierwsze modele TG opira-

cowano na podstawie badań materiału roślinnego. Najlepiej przebadana została TG z chloroplastu. Dalsze badania pozwoliły stwierdzić, że zwierzęce transglutaminazy wykazują między sobą wiele podobieństw, ale ich budowa jest odmienna od transglutaminaz roślinnych. Niektóre modele roślinne i zwierzęce różnią się jednak tylko miejscem katalitycznym, a charakterystyczne dla obu grup jest centrum aktywne zbudowane z triady aminokwasów: cysteiny, asparaginy i histydyny (Cys, Asp, His) [32].

Do zastosowań przemysłowych najistotniejsza jest zdolność TG do sieciowania białek różnego pochodzenia. Przez lata najszerzej stosowaną w przemyśle spożywczym była TG izolowana z wątroby kawii domowej (d. świnka morska), wymagająca obecności jonów wapnia w środowisku działania. Ze względu na wysokie koszty pozyskiwania tego enzymu poszukiwano alternatywnych jego źródeł. Podejmowano próby uzyskania enzymu o wysokiej aktywności, a jednocześnie niewymagającego szczególnych warunków do katalizowania reakcji. Niewątpliwym przełomem było pozyskanie tego enzymu na drodze mikrobiologicznej, głównie dzięki szczepom *Streptoverticillium* sp., gdyż nie wymagał on *in vitro* obecności jonów Ca^{2+} . Pierwszą mikrobiologiczną transglutaminazę (mTG) otrzymano z *S. mobaraensis* ok. 1989 r. [6, 13]. Taka metoda produkcji pozwoliła na znaczące obniżenie ceny enzymu, pośrednio wpływając na podniesienie efektywności ekonomicznej przemysłowych procesów technologicznych wspomaganym użyciem TG [7].

Struktura i aktywność enzymu

W organizmie człowieka TG występuje w wielu izoformach, m.in. jako TG1, TG2 (tkankowa transglutaminaza – homolog najbardziej rozpowszechniony, identyczny z wykorzystywanym w przemyśle spożywczym, pochodzącym z wątroby kawii domowej), TG X czy czynnik XIIIa. TG 2 jest to białko o masie 80 000 Da. Enzym ten jest dimerem i składa się z czterech domen (N-terminalnej, centrum katalitycznego i dwóch końców C-terminalnych) [14, 28]. W świecie flory TG ma wiele izoform, dlatego tak ważne było dokładne poznanie struktury oraz aktywności i właściwości wyróżniających ten enzym. Wielokrotnie w celu zapewnienia aktywności enzymu niezbędne były jony wapnia, co znacznie utrudniało wykorzystanie go w skali przemysłowej. Problem ten został rozwiązany wraz z otrzymaniem transglutaminazy na drodze mikrobiologicznej.

Mikrobiologiczna transglutaminaza (mTG) pochodząca z *S. mobaraensis* jest monomerem. Składa się z 331 aminokwasów i jest prawie o połowę mniejsza niż transglutaminaza pochodzenia zwierzęcego. Jej masa molekularna wynosi 37 900 Da [13, 14, 15, 40].

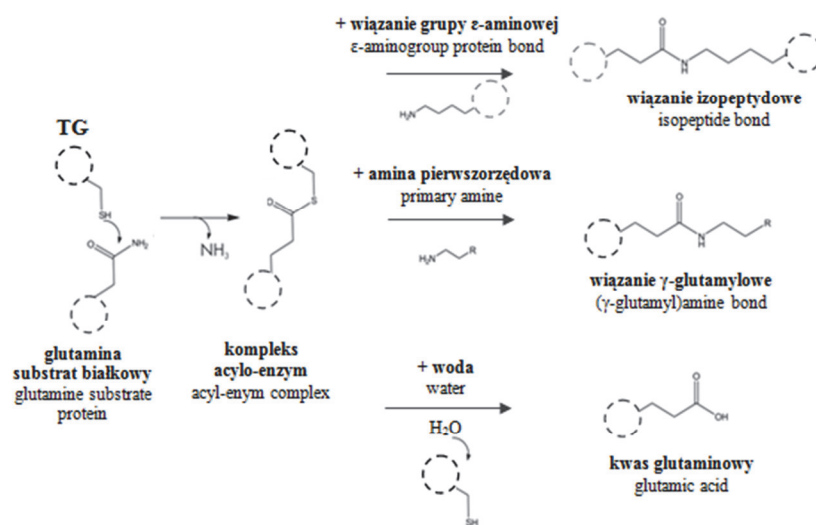
W przeciwieństwie do TG2 mTG nie wymaga obecności jonów Ca^{2+} . Optymalne warunki, w których jest aktywna to temp. $25 \div 50$ °C i pH w zakresie $5,0 \div 9,0$, a punkt izoelektryczny to 8,9. Dezaktywacja enzymu następuje po przekroczeniu temp. 70 °C.

Takie warunki sprawiają, że enzym ten jest atrakcyjnym substratem technologicznym dla przemysłu spożywczego [7, 13, 15, 40].

Mechanizm działania i funkcje transglutaminazy

Transglutaminaza katalizuje transport grup acylowych, deaminację białek, polimeryzację białek między- i wewnątrzcząsteczkową. Katalizowane przez mTG reakcje pozwalają na zmiany właściwości białek obecnych w matrycy, jaką jest żywność [2, 36].

Triada katalityczna (Cys, His, Asp) w miejscu aktywnym enzymu łączy się z glutaminą w białku, tworząc tioester z γ -karboksamidem i uwalniając amoniak. Powstaje kompleks enzym - białko. Następnie możliwe są trzy drogi reakcji z nukleofilowymi aminami (rys. 1). Po pierwsze może tworzyć się wiązanie izopeptydowe z łańcuchem białkowym. Druga opcja to związanie aminy przez wiązanie γ -glutamylowe, co wzbogaca białko o kolejny aminokwas. Trzecia droga prowadzi do deaminacji w reakcji z wodą [1, 13, 25, 40].



Rys. 1. Reakcje katalizowane przez mTG

Fig. 1. MTG-catalyzed reactions

Źródło: / Source: opracowanie własne na podstawie [1, 13, 25, 40] / the authors' own study based on [1, 13, 25, 40]

Zarówno rozbudowywanie łańcucha białkowego, jak i reakcja deaminacji są korzystne dla piekarstwa. Pozwalają na modyfikacje właściwości białek, a tym samym umożliwiają zmiany struktury ciasta chlebowego zawierającego białko [30, 40].

Modyfikacje białek stosowane w przemyśle piekarskim

Sieciowanie białek znajduje zastosowanie w przemyśle spożywczym, w tym coraz większe w piekarstwie. Tworzenie sieci z białek w cieście chlebowym wpływa na właściwości uzyskiwanych produktów piekarskich. TG dzięki wyjątkowym cechom pozwala na poprawę jakości pieczywa bez stosowania chemicznych polepszaczy. W obecności glutenu indukuje ona tworzenie wysokocząsteczkowych polimerów, co wpływa na wzmocnienie sieci glutenowej [35, 36]. Enzym ten szeroko modyfikuje cechy morfometryczne wyrobów piekarskich. Reakcje katalizowane przez TG mają wpływ na mikro- i makroskopowe cechy chleba [2, 30].

Istotnym zagadnieniem jest zmiana konsystencji ciasta chlebowego pod wpływem TG. Enzym ten wykazuje powinowactwo zarówno do wysoko- (HMW), jak i niskocząsteczkowych (LMW) glutenin. Duża ilość HMW sprzyja tworzeniu większych aglomeratów białkowych. Takie właściwości wykazują mąki o wysokiej jakości wypiekowej. W wyniku tworzenia się mocniejszych wiązań hydrofobowych zwiększa się polimeryzacja białek. Wpływa to na zwiększenie spójności ciasta, gdyż nie tylko stosunek zawartości fazy białkowej (glutenin i gliadyn) do ilości skrobi i wody, ale także wielkość aglomeratów gluteninowych determinuje właściwości reologiczne ciasta [4, 34]. Dodatek enzymu wpływa na tworzenie disiarczkowych wiązań podczas mieszania ciasta, poprawia strukturę ciasta, które jest bardziej stabilne i sprężyste, jak również determinuje twardość miękiszu po wypieku. Dodatkowo TG przez rozbudowywanie łańcucha białkowego w cieście ma wpływ na późniejszą objętość, a także porowatość miękiszu chleba [5, 18]. Zaobserwowano, że chleb wzbogacany TG wykazuje lepszą charakterystykę miękiszu. Jest on jaśniejszy, pory są mniejsze i równomierne, a ich ścianki – cieńsze. Wysoką jakość wzbogaconego pieczywa potwierdzają zarówno wyniki analiz instrumentalnych, jak i sensorycznych [4]. Warto nadmienić również, że polepszona struktura sieci białkowej przyczynia się korzystnie do przedłużenia świeżości pieczywa, z zachowaniem właściwych cech sensorycznych [9, 16].

TG zwiększa powinowactwo wody do glutenu. Reakcja ta pozwala na związanie większej ilości wody w cieście i miększu chleba, co przy jednoczesnej stabilizacji naturalnej sieci białkowej pozwala na uzyskanie lepszego rachunku ekonomicznego i wyprodukowanie wyrobu piekarskiego, który jest atrakcyjny dla klienta. Jednocześnie przypuszcza się, że reakcja ta katalizowana przez enzym może ograniczać dostęp wody do ziaren skrobiowych, jednak pomimo zmniejszenia stopnia uwodnienia ziaren skrobi miększ nie traci elastyczności. Dodatek TG oddziałuje natomiast na zmianę parametrów teksturalnych pieczywa w czasie. Wpływa także na zwiększenie twardości i żuźności pieczywa [4, 22].

Efektywność działania enzymu uwarunkowana jest również dodatkiem surowca białkowego, a tym samym obecnością aminokwasów, takich jak lizyna czy glutamina. Stosowanie TG przy jednoczesnym wzbogacaniu preparatami białkowymi wpływa na

poprawę właściwości sensorycznych chleba [24, 30]. Innymi czynnikami wpływającymi na skuteczność TG jest dawka enzymu oraz czas fermentacji ciasta. Przekroczenie 4 U na gram białka może powodować skutek odwrotny do zamierzonego działania enzymu, zwłaszcza w odniesieniu do zmian objętości właściwej pieczywa [34, 38]. Interesującą obserwacją jest wpływ enzymu na zwiększenie produktywności CO₂ przez drożdże. Uważa się, że TG może pozytywnie modyfikować system enzymatyczny drożdży piekarskich i przyspieszać konwersję cukrów oraz wytwarzanie gazów [38].

Przypuszcza się, że poza technologiczną zasadnością stosowania TG przejawia ona także wpływ antyalergiczny. Zaburzona funkcja TG2 w organizmie ludzkim może prowadzić do zakłóceń w syntezie białek, a w efekcie do zaburzeń pokarmowych i nietolerancji glutenu. Okazuje się jednak, że technologiczne użycie mTG w procesie produkcji pieczywa i innych wyrobów zbożowych pozwala na, przynajmniej częściowe, odbudowanie białek glutenowych o wysokiej masie cząsteczkowej. Taka modyfikacja białek – przez sieciowanie czy deaminację – prowadzi do blokowania glutaminy i obniżenia alergenności bądź nietolerancji takiego produktu. Dodatek enzymu wywiera również wpływ na zwiększenie liczby wiązań siarczkowych S-S, co powoduje specyficzne blokowanie wiązań z glutaminą [3, 14, 19, 21].

Ostatnio proponuje się stosowanie TG do wypieku pieczywa bezglutenowego, m.in. z wykorzystaniem alternatywnych zbóż, np. ryżu, gryki czy owsa. Takie pieczywo wymaga stosowania środków strukturotwórczych, takich jak guma guar, guma ksantanowa lub inne hydrokoloidy. Mohammandi i wsp. [23] wykazali podobne oddziaływanie enzymu na zachowanie bezglutenowego ciasta chlebowego, a także pieczywa po wypieku, jak w przypadku pieczywa wypiekanego z mąki pszennej. Autorzy ci wskazywali na synergizm działania TG i gumy guar, który uwydatnia korzyści stosowania obu substancji. Także inni autorzy zwracali wcześniej uwagę na efekt synergizmu substancji strukturotwórczych z TG, co wpływa na polepszenie właściwości reologicznych ciasta, a dalej pieczywa bezglutenowego [22, 24, 37]. Istotny wpływ na skuteczność podwyższenia jakości wyrobów przez białko enzymatyczne ma również ilość wprowadzonej do ciasta wody i dawka TG. Podobnie jak w wyrobach pszennych, zwiększona ilość TG pozytywnie wpływa na twardość i żujność pieczywa [29]. Należy jednak pamiętać, że przy mniejszej dawce TG pory mięksiszu są bardziej równomierne i cienkościenne, natomiast wraz ze wzrostem dawki enzymu stają się większe i niejednorodne [29]. Ponadto w przypadku przekroczenia zalecanej dawki TG objętość właściwa pieczywa ulega zmniejszeniu [23, 29].

Dodatkową zaletą stosowania TG w piekarstwie jest możliwość wzbogacania pieczywa w białka czy pojedyncze aminokwasy, najczęściej w lizynę. Stosowanie dodatku preparatów białkowych nie tylko zwiększa efektywność TG, ale również stwarza możliwości projektowania nowych wyrobów piekarskich o podwyższonej jakości prozdrowotnej. Zwiększanie wartości odżywczej jest pozytywnie odbierane przez kon-

sumenta, co może się przyczynić do odwrócenia lub przynajmniej złagodzenia niekorzystnej tendencji zmniejszania spożycia pieczywa [16].

Podsumowanie

Zmniejszenie spożycia pieczywa wynikające ze zmian trendów dietetycznych wzmaga poszukiwania rozwiązań technologicznych satysfakcjonujących zarówno konsumentów, jak i producentów. Wykorzystanie właściwości transglutaminazy umożliwia wzrost opłacalności produkcji pieczywa przy zachowaniu tzw. czystej etykiety, cenionej przez odbiorców, a jednocześnie zwiększa atrakcyjność i trwałość wyrobów piekarskich, w tym dietetycznych, produkowanych z alternatywnych zbóż.

Literatura

- [1] Abd-Rabo F.H.R., El-Dieb S.M., Abd-El-Fattah A.M., Sakr S.S.: Natural state changes of cows' and buffaloes' milk proteins induced by microbial transglutaminase. *J. Am. Sci.*, 2010, **6** (9), 612-620.
- [2] Basman A., Köksel H., Ng P.K.W.: Effect of transglutaminase on SDS-PAGE patterns of wheat, soy and barley proteins and their blends. *J. Food Sci.*, 2002, **67** (7), 2654-2658.
- [3] Brzozowski B., Bednarczyk W., Adamczyk M.: Biotechnologiczna modyfikacja biologicznych właściwości białek zbóż. *Zywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2005, **4** (45), 17-26.
- [4] Caballero P.A., Gomez M., Rosell C.M.: Improvement of dough rheology, bread quality and bread shelf-life by enzymes combination. *J. Food Eng.*, 2007, **81** (1), 42-53.
- [5] Collar C., Bollaín C., Angioloni A.: Significance of microbial transglutaminase on the sensory, mechanical and crumb grain pattern of enzyme supplemented fresh pan breads. *J. Food Eng.*, 2005, **70**, 479-488.
- [6] Cui L., Zhang D., Huang L., Liu H., Du G., Chen J.: Stabilization of a new microbial transglutaminase from *Streptomyces hygroscopicus* WSH03-13 by spray drying. *Process Biochem.*, 2006, **6** (41), 1427-1431.
- [7] De Góes-Favoni S.P., Bueno F.R.: Microbial transglutaminase: General characteristics and performance in food processing technology. *Food Biotechnol.*, 2014, **28**, 1-24.
- [8] Diakun J., Wieliczko W.: Prawidłowość znakowania i jakość handlowa pieczywa w dystrybucji handlowej. *Inż. Przetw. Spoż.*, 2013, **2** (6), 9-13.
- [9] Dłużewska E., Marciniak-Lukasiak K.: Właściwości tekstualne pieczywa bezglutenowego. *Acta Agrophysica*, 2014, **21** (4), 433-443.
- [10] Dziki D., Siastała M., Laskowski J.: Ocena właściwości fizycznych pieczywa handlowego. *Acta Agrophysica*, 2011, **18** (2), 235-244.
- [11] Gujral H.S., Rosell C.M.: Functionality of rice flour modified with a microbial transglutaminase. *J. Cereal Sci.*, 2004, **39**, 225-230.
- [12] Jankiewicz M.: Dylematy polskiego piekarstwa – szanse ich rozwiązania. *Przeł. Zboż. Młyn.*, 2008, **3**, 2-5.
- [13] Jaros D., Partschefeld C., Henle T., Rohm H.: Transglutaminase in dairy products: Chemistry, physics, applications. *J. Texture Stud.*, 2006, **37**, 113-155.
- [14] Kączkowski J.: Transglutaminase – An enzyme group of extended metabolic and application possibilities. *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, 2005, **14/55** (1), 3-12.
- [15] Kashiwagi T., Yokoyama K., Ishikawa K., Ono K., Ejima D., Matsui H., Suzuki E.: Crystal structure of microbial transglutaminase from *Streptoverticillium mobaraense*. *J. Biol. Chem.*, 2002, **277**, 44252-44260.
- [16] Kieliszek M., Misiewicz A.: Microbial transglutaminase and its application in the food industry. A review. *Folia Microbiol.*, 2014, **59**, 241-250.

- [17] Kowalska H., Marzec A., Mucha M.: Ocena sensoryczna wybranych rodzajów pieczywa funkcjonalnego oraz preferencje pieczywa wśród konsumentów. *Zesz. Probl. Postęp. Nauk Rol.*, 2012, **571**, 67-78.
- [18] Kuraishi Ch. Yamazaki K., Susa Y.: Transglutaminase: Its utilization in the food industry. *Food Rev. Inter.*, 2001, **17 (2)**, 221-246.
- [19] Lerner A., Matthias T.: Possible association between celiac disease and bacterial transglutaminase in food processing: A hypothesis. *Nutr. Rev.*, 2015, **73 (8)**, 544-552.
- [20] Li L.-Y., Easa M., Liong M.-T., Tan Th.-Ch., Foo W.-T.: The use of microbial transglutaminase and soy protein isolate to enhance retention of capsaicin in capsaicin-enriched layered noodles. *Food Hydrocol.*, 2013, **30**, 495-503.
- [21] Łącka A., Leszczyńska J.: Białka glutenu a alergenicność mąki pszennej. *Zesz. Nauk. PŁ. Chem. Spoż. Biotech.*, 2005, **69**, 77-90.
- [22] Łącka A., Leszczyńska J.: Metody obniżania immunoreaktywności alergenów zawartych w żywności. *Zesz. Nauk. PŁ. Chem. Spoż. Biotech.*, 2005, **69**, 91-104.
- [23] Mahmmadi M., Azizi M.H., Neyestani T.R., Hosseini H., Mortazavian A.M.: Development of gluten-free bread using guar gum and transglutaminase. *J. Ind. Eng. Chem.*, 2015, **21**, 1398-1402.
- [24] Marco C., Rosell C.M.: Breadmaking performance of protein enriched, gluten-free breads. *Eur. Food Res. Technol.*, 2008, **227**, 1205-1213.
- [25] Mariniello L., Di Pierro P., Giosafatto C.V.L., Sorrentino A., Porta R.: Transglutaminase in food biotechnology. In: *Recent Research Developments in Food Biotechnology. Enzymes as Additives or Processing Aids*. Eds. R. Porta, P. Di Pierro, L. Mariniello. Research Signpost, Trivandrum, India, 2008, pp. 185-211.
- [26] Mielcarz M.: Chleba naszego powszedniego... *Przegl. Piek. Cuk.*, 2004, **4**, 12-13.
- [27] Mondal A., Datta A.K.: Bread baking – A review. *J. Food Eng.*, 2008, **86**, 465-474.
- [28] Ostrowski M., Izdebska M., Grzanka A., Żuryń A., Grzanka D.: Udział transglutaminazy 2 w chorobach autoimmunologicznych. *Postępy Hig. Med. Dośw.*, 2005, **59**, 334-339.
- [29] Pongjaruvat W., Methacanon P., Seetaan N., Fuongfuchat A., Gamonpilas Ch.: Influence of pregelatinised tapioca starch and transglutaminase on dough rheology and quality of gluten-free jasmine rice breads. *Food Hydrocoll.*, 2014, **36**, 143-150.
- [30] Renzetti S., Dal Bello F., Arendt E.K.: Microstructure, fundamental rheology and baking characteristics of batters and breads from different gluten-free flours treated with a microbial transglutaminase. *J. Cereal Sci.*, 2008, **43**, 33-45.
- [31] Samborska K.: Suszenie rozpyłowe enzymów – przyczyny inaktywacji oraz metody i mechanizmy ich stabilizacji. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2010, **6 (73)**, 7-17.
- [32] Samelak A., Sobieszczuk-Nowicka E., Legocka J.: Transglutaminazy i ich biologiczne funkcje. *Post. Biol. Komórki*, 2010, **37**, 599-612.
- [33] Serafini-Fracassini D., Massimiliano A., Mea D., Gianluca A., Ae T., Casadio R., Duca S.: Plant and animal transglutaminases: Do similar functions imply similar structures? *Amino Acids*, 2009, **36**, 643-657.
- [34] Seravalli E.Ap.G., Iguti A.M., Santana I.Ap., Filho F.F.: Effects of application of transglutaminase in wheat proteins during the production of Bread. 11th International Congress on Engineering and Food (ICEF11), Athens, Greece, 2011, May, 22-26, p. 935-942.
- [35] Shin M., Gang D., Song J.: Effects of protein and transglutaminase on the preparation of gluten-free rice bread. *Food Sci. Biotechnol.*, 2010, **19 (4)**, 951-956.
- [36] Šimurina O.D., Popov S.D., Filipčev B.V., Dodić J.M., Bodroža-Solarov M.I., Demin M., Nježić Z.B.: Modelling the effects of transglutaminase and L-ascorbic acid on substandard quality wheat flour by response surface methodology. *Chem. Ind. Chem. Eng. Q.*, 2014, **20 (4)**, 471-480.
- [37] Smerdel B., Pollak L., Novotni D., Čukelj N., Benković M., Lušić D., Čurić D.: Improvement of gluten-free bread quality using transglutaminase, various extruded flours and protein isolates. *J. Food Nutr.*, 2012, **51(4)**, 242-253.
- [38] Soulaka A.B., Ilia E.B.: Effect of transglutaminase on gassing power and specific loaf volume in wheat-barley flour blends baking quality. *The IRES 10th Int. Conf.*, Prague, Czech Republic, 2015, September, 27, pp. 5-9.

- [39] Sumantha A., Larroche Ch., Pandey A.: Microbiology and industrial biotechnology of food-grade proteases: A perspective. *Food Technol. Biotechnol.* 2006, **44** (2), 211-220.
- [40] Yokoyama K., Nio N., Kikuchi Y.: Properties and applications of microbial transglutaminase. *Appl. Microbiol. Biot.*, 2004, **64**, 447-454.
- [41] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 22 listopada 2010 r. w sprawie dozwolonych substancji dodatkowych Dz. U. 2010. Nr 232, poz. 1525

PROPERTIES OF TRANSGLUTAMINASE AND ITS ROLE IN BAKERY INDUSTRY

S u m m a r y

Changes in diet trends have resulted in decreased consumption of bakery products; this has a positive effect on efforts to find technological solutions to satisfy both consumers and producers. One of the suggestions is to make use of the properties of transglutaminase. Its use may help producing bakery products with a new high quality.

Transglutaminase (TG) is an enzyme capable of modifying proteins; therefore, it is an attractive additive of technological significance for the food industry. The paper reviews the properties of this enzyme with particular focus on the advantages of its applications in the bakery industry. TG has a beneficial effect on bakery products; among other things, it improves the external appearance of products, increases the specific volume, and improves the pore homogeneity in crumb. The addition of TG improves the bread yield while keeping the so called "clean label" intact. Moreover, transglutaminase has an effect on improving the quality of gluten-free bakery products; also, it is possible, as a result of the enzyme-catalyzed reactions, to reduce allergenicity or intolerance of traditional bakery products.

Key words: transglutaminase, bakery products, "clean label", bakery additives ☒