

Angelika Zys, Zbigniew Garncarek

Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu

e-mails: angelika.zys@ue.wroc.pl; zbigniew.garncarek@ue.wroc.pl

WYKORZYSTANIE TRANSGLUTAMINAZY MIKROBIOLOGICZNEJ DO WYTWARZANIA PRODUKTÓW BEZGLUTENOWYCH

USE OF MICROBIOLOGICAL TRANSGLUTAMINASE FOR THE PRODUCTION OF GLUTEN-FREE PRODUCTS

DOI: 10.15611/pn.2018.542.16

JEL Classification: L66

Streszczenie: Rynek produktów bezglutenowych rozwija się bardzo szybko. Z każdym rokiem zwiększa się poziom wiedzy, świadomość konsumentka oraz możliwości diagnostyczne glutnozależnych chorób, jednak jakość produktów bezglutenowych wciąż jest niższa niż produktów tradycyjnych. W produkcji wypieków bezglutenowych wykorzystuje się naturalnie bezglutenowe zboża, skrobie, pseudozboża, funkcjonalne dodatki, takie jak np. hydrokoloidy, polepszacze do ciasta, składniki bogate w błonnik. Obecnie coraz więcej uwagi poświęca się także wykorzystaniu enzymów do produkcji. Celem pracy jest przedstawienie możliwości zastosowania transglutaminazy (EC 2.3.2.13) pochodzenia mikrobiologicznego w produkcji bezglutenowych wyrobów piekarniczych. Reakcje katalizowane przez transglutaminazę mają wpływ na mikro- i makroskopowe cechy wypieków. Zastosowanie tego enzymu może powodować zmniejszenie immunoreaktywności i nietolerancji konwencjonalnego pieczywa, a także wpływać na przebieg leczenia osób chorych na celiakię.

Słowa kluczowe: transglutaminaza mikrobiologiczna, hydroksykoloidy, pieczywo bezglutenowe.

Summary: Gluten-free market is growing very fast. Each year, the level of knowledge, consumer awareness and diagnostic possibilities of gluten-related disorders increases, however, the quality of gluten-free products is still lower comparing to traditional ones. The gluten-free baking production utilizes gluten-free cereals, starches, pseudocereals, functional additives such as, for example, hydrocolloids, dough improvers and fiber-rich ingredients. Currently, more and more attention is being paid to the use of enzymes for production. The aim of the study was to present the possibility of using transglutaminase (EC 2.3.2.13) of microbiological origin in the production of gluten-free bakery products. Reactions catalyzed by transglutaminase have an effect on the micro- and macroscopic baking characteristics. The application of this enzyme may reduce the immunoreactivity and intolerance of a conventional bread and affect the treatment of people with celiac disease.

Keywords: microbiological transglutaminase, hydroxycolloids, gluten free bread.

1. Wstęp

Dieta bezglutenowa towarzyszy wielu osobom przez całe życie i jest stosowana w leczeniu przyczynowym glutenozależnych chorób. Powinna być prawidłowo zbilansowana, dobrze akceptowana i pokrywać zapotrzebowanie na składniki odżywcze [Wojtasik i in. 2008].

Wyroby bezglutenowe, głównie piekarnicze, charakteryzują się zwykle gorszą konsystencją i teksturą oraz mniejszą akceptacją konsumencką w porównaniu z produktami zawierającymi gluten [Placek (red.) 2015]. Dlatego też prowadzone są badania nad poprawą struktury oraz trwałości pieczywa bezglutenowego. W celu zastąpienia glutenu, spełniającego rolę czynnika strukturotwórczego, produkty bezglutenowe najczęściej uzupełniane są o substancje wspomagające wzrost ciasta (np. wodorowęglan sodu), emulgatory (np. mono- i diglicerydy kwasów tłuszczowych itd.) oraz substancje zagęszczające i teksturotwórcze (np. hydroksymetylocelulozę, karboksymetylocelulozę, gumę arabską, gumę ksantanową, gumę guar, gumę karob, pektyny, celulozę, albuminę jaja kurzego). Najczęściej stosuje się polisacharydowe hydrokoloidy [Hoffmann, Jędrzejczyk 2007; Foschia i in. 2016; Mir i in. 2016; Morreale i in. 2018; Liu i in. 2018]. Bezglutenowe wyroby są często mniej wartościowym źródłem niezbędnych składników odżywczych, charakteryzują się niższą wartością odżywczą oraz niższą jakością w porównaniu z produktami konwencjonalnymi. Ponadto są uboższe w witaminy z grupy B, błonnik pokarmowy czy magnez [Rybicka, Gliszczyńska-Świgło 2014; Foschia i in. 2016].

Rynek produktów bezglutenowych rozwija się bardzo dynamicznie. Szacowana wartość rynku produktów bezglutenowych w Stanach Zjednoczonych i Europie Zachodniej w 2017 roku wynosiła 6,6 mld dolarów [Kunachowicz (red.) 2017]. W ciągu ostatniej dekady dostępność i różnorodność produktów bezglutenowych znacznie się poprawiła [Jarosz, Wierzejska 2016]. Dostępne na rynku produkty bezglutenowe powstają już nie tylko na bazie bezglutenowej skrobi pszennej, składników bezglutenowych o dużym stopniu oczyszczenia, ale także z naturalnie bezglutenowych surowców roślinnych, charakteryzujących się często wysoką wartością odżywczą [Ozturk, Mert 2018].

W celu zapewnienia coraz lepszej jakości wyrobów oferta pieczywa bezglutenowego poszerzana jest o produkty o mniejszym stopniu przetworzenia i zwiększonym udziale cennych składników pokarmowych. Obecnie można kupić chleb bezglutenowy wyprodukowany na zakwasie ryżowym, gryczanym oraz z nasion quinoa czy z dodatkami mąki i/lub ziaren słonecznika, gryki, prosa, łubinu, amarantusa, lnu i suszonych owoców [Lange 2013]. Również Naqash i in. [2017], Scarnato i in. [2017] oraz Gobbetti i in. [2018] wskazują na zwiększone zainteresowanie nowym podejściem do wytwarzania produktów bezglutenowych: poszukiwaniem alternatywnych surowców (dla dotychczas wykorzystywanych bezglutenowych mąk), czy zastosowaniem bezglutenowych zakwasów. Celem takich poszukiwań jest otrzymanie produktu wysokiej jakości i atrakcyjności konsumenckiej. Przykładem może

być wzbogacanie chleba bezglutenowego o mąkę z szarłat [Marciniak-Łukasiak, Skrzypacz 2008] lub otrzymanie bezglutenowego pieczywa na bazie kaszy gryczanej z dodatkiem mąki z szarłat, ciecierzycy lub z kasztana [Zys, Garncarek 2017].

Obecnie coraz szerzej wykorzystuje się do produkcji wyrobów bezglutenowych preparaty enzymatyczne i egzopolisacharydy (wytwarzane przez bakterie kwasu mlekowego). Pozwala to na kształtowanie ich właściwości fizykochemicznych i rezygnację z chemicznych substancji strukturotwórczych. Egzopolisacharydy bakteryjne wykazują zdolności do tworzenia sieci i wiązania wody oraz właściwości fizykochemiczne podobne do handlowych hydrokoloidów (np. gum). Dzięki takim właściwościom polisacharydy bakteryjne mogą być alternatywą dla komercyjnych hydrokoloidów stosowanych w produkcji wyrobów bezglutenowych [Lynch i in. 2018].

Niezadowalająca jakość produktów bezglutenowych jest bodźcem do poszukiwania alternatywnych rozwiązań dla obecnie stosowanych technologii [Foschia i in. 2016]. Badania Diowksza i Leszczyńskiej [2016] oraz Onyango i in. [2010] wykazują przydatność preparatów mikrobiologicznej transglutaminazy do kształtowania właściwości fizykochemicznych oraz reologicznych wyrobów piekarskich.

Celem pracy było przedstawienie możliwości zastosowania transglutaminazy (TG) pochodzenia mikrobiologicznego w produkcji wyrobów piekarskich. Na podstawie przeglądu literatury opisano działanie transglutaminazy mikrobiologicznej (mTG) oraz wykorzystanie jej zdolności do wewnątrz- i międzymolekularnej polimeryzacji białek w produkcji wyrobów bezglutenowych.

mTG może być stosowana do poprawy właściwości reologicznych wypieków otrzymanych na bazie roślin bogatych w białko, jak np. gryka, amarantus czy inne bezglutenowe rośliny (zbożowe i nie zbożowe). Enzym ten jest oznaczony statusem GRAS (*Generally Recognized As Safe*) i jest uznawany za bezpieczny dla zdrowia człowieka. Na rynku dostępnych jest coraz więcej handlowych preparatów enzymatycznych o dużej aktywności transglutaminazy mikrobiologicznej [Gharibzahedia, Chronakis 2018; Kaewprachu i in. 2017; Pyrcz i in. 2012]. Obecnie enzym ten jest używany w wielu gałęziach przemysłu spożywczego, do produkcji wina, sosu sojowego, chleba, a ostatnio coraz częściej w przemyśle mleczarskim, m.in. do produkcji jogurtów [Romeih, Walker 2017; Lua i in. 2018], i wytwarzania przetworów mięsnych [Pyrcz i in. 2012].

2. Struktura i działanie transglutaminazy

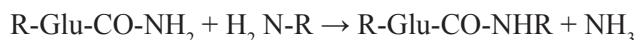
TG należy do klasy transferaz (γ -glutamyl-transferaza, EC 2.3.2.13), bierze udział w wielu procesach fizykochemicznych zarówno w organizmach zwierzęcych, jak i roślinnych. Została wykryta w wielu tkankach, cieczach ustrojowych kręgowców, bezkręgowców, roślin, a nawet drobnoustrojów. W ludzkim organizmie występuje TG tkankowa, która jest odpowiedzialna między innymi za krzepnięcie krwi. Przez wiele lat wykorzystywano TG izolowaną z wątroby kawii domowej (dawniej świnki

morskiej), np. w przemyśle mięsny [Sadowska, Diowks 2016]. Dużym sukcesem było rozpoczęcie pozyskiwania transglutaminazy na drodze mikrobiologicznej. Wzmoczone zainteresowanie i badania naukowe nad transglutaminazą pochodzenia mikrobiologicznego (mTG) przypadają na koniec lat 80. XX wieku. Około 1989 roku pierwszy raz otrzymano ten enzym na drodze mikrobiologicznej, przy użyciu szczepów *Streptoverticillium* sp. Obecnie mTG pozyskuje się głównie ze szczepu *Streptomyces mobaraensis* [Kashiwagi i in. 2002]. mTG składa się z 331 aminokwasów i jest prawie o połowę mniejsza niż TG pochodzenia zwierzęcego. Jej masa molekularna wynosi 37 900 Da [Jaros i in. 2006]. Enzym ten katalizuje transport grup acylowych pomiędzy resztami glutaminy i lizyny, deaminację białek, polimeryzację białek między- i wewnątrzcząsteczkową [Markowska i in. 2015].

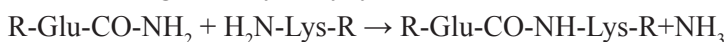
Dla przemysłu spożywczego najważniejszą cechą jest możliwość sieciowania białek przez mTG. Białka roślinne zawierające dużo reszt amidowych są dobrym substratem do reakcji sieciowania katalizowanych przez mTG, co jest szczególnie istotne w produktach bezglutenowych, w których brak glutenu powoduje znaczne różnice w strukturze w porównaniu z wypiekami glutenowymi [Kączkowski 2005; Amirdivani i in. 2018].

Działanie mTG pozwala na modyfikację właściwości białek, a zatem zmiany struktury wypieków. Zarówno wydłużenie łańcucha białkowego, jak i deaminacja są korzystne dla struktury i tekstury wypieków [Gaspar, Góes-Favoni 2015]. Reakcje katalizowane przez mTG obejmują [Camolezi Gaspar i in. 2015; Romeih, Walker 2017; Amirdivani i in. 2018]:

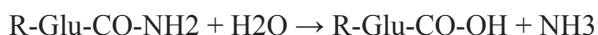
a) transfer grupy acylowej



b) sieciowanie reszt glutaminy i lizyny



c) deaminację w reakcji z wodą



mTG wykazuje zdolność do modyfikacji białek [Markowska i in. 2015; Amirdivani i in. 2018]. Można za jej pomocą wpływać na wymiary i giętkość cząsteczek białek (katalizowanie powstawania kowalencyjnych wiązań sieciujących) czy zmieniać ładunek cząsteczek białek [Jin i in. 2016]. W produktach piekarniczych mTG wykazuje korzystny wpływ na wygląd zewnętrzny wyrobów, zwiększa homogenność por miękiszka i objętość właściwą [Seravalli i in. 2011; Diowks, Leszczyńska 2016]. Deklarowana przez producentów aktywność preparatów mTG dostępnych na polskim rynku wynosi od 35,7 U g⁻¹ (dla próbnych preparatów wypiekowych) do 3000 U g⁻¹. Konsumenci coraz częściej poszukują produktów otrzymanych na podstawie tradycyjnych receptur, bez syntetycznych dodatków, a stosowanie mTG w przemyśle spożywczym pozwala na zachowanie tzw. czystej etykiety (pod wpływem wysokiej temperatury enzym ulega dezaktywacji) [Sadowska, Diowks 2016],

z czego korzystają producenci. W literaturze można znaleźć wiele informacji, iż produkty z dodatkiem mTG charakteryzują się mniejszą zawartością tłuszczów, przedłużoną trwałością. Po ich spożyciu (w wyniku katalizowanych przez enzym reakcji) obserwowana jest mniejsza immunoreaktywność i nietolerancja białek zawartych w pieczywie [Diowks, Leszczyńska 2016; Giosafatto i in. 2012].

mTG może powodować także obniżenie alergenicności mąki pszennej. Bardzo obiecujące są wyniki badań wskazujące, iż enzym ten może mieć też wpływ na przebieg leczenia osób chorych na celiakię. Modyfikacja enzymatyczna glutenu za pomocą mTG może przyczyniać się do łagodzenia jego antygenowości. Stwarza to szanse na łagodzenie objawów nadwrażliwości na gluten, nawet w przypadku chorych na celiakię, co byłoby wielkim sukcesem, zwłaszcza że dieta bezglutenowa musi być ściśle przestrzegana przez całe życie [Fatima, Khare 2018]. Aspekt ten wymaga jednak dalszych dogłębnych badań, aby uznać go za całkowicie bezbłędny, gdyż wciąż istnieje wiele pytań [Amirdivani i in. 2018].

Producenci zauważają wiele zalet płynących z zastosowania mTG w stosunku do poniesionych nakładów finansowych na ich zakup. Wydajność preparatów enzymatycznych zawierających mTG jest bardzo duża [Giosafatto i in. 2012] (najczęściej wystarczy około 1 g preparatu enzymatycznego na 1 kg mąki). Dlatego enzym ten stał się bardzo atrakcyjną substancją o dużym znaczeniu technologicznym, zwłaszcza w przemyśle piekarniczym, a szczególnie w branży bezglutenowych wypieków, gdzie wciąż występuje wiele problemów z ich strukturą [Amirdivani i in. 2018].

3. Aktywność transglutaminazy mikrobiologicznej

Zapewnienie odpowiednich warunków działania mTG w wyrobach piekarskich pozwala na otrzymanie produktu spełniającego oczekiwania konsumentów. Optymalna aktywność enzymu potrzebna do wywołania żelowania białek występujących w żywności wynosi od 30 do 50 U g⁻¹ białka [Yokoyama i in. 2004]. Zwiększenie aktywności preparatu enzymatycznego do około 100 U g⁻¹ może zwiększyć twardość powstałego żelu [Kołakowski, Sikorski 2001].

W przeciwieństwie do TG pochodzenia zwierzęcego, działanie mTG jest zazwyczaj niezależne od stężenia jonów wapnia, co znacznie ułatwia wykorzystanie tego enzymu w skali przemysłowej [Markowska i in. 2015; Kieliszek, Misiewicz 2014].

Wśród czynników determinujących przebieg reakcji sieciowania białek katalizowanej przez mTG jest stężenie białka w surowcu stosowanym do produkcji wypieków [Kołakowski, Sikorski 2001; Gaspar, Góes-Favoni 2015]. Dla optymalnego działania mTG w produktach piekarskich ważne jest odpowiednie dobranie surowców roślinnych zbożowych i niezbóżowych [Renzetti i in. 2007; Gaspar, Góes-Favoni 2015]. Przy niskim stężeniu białka w środowisku reakcyjnym enzym ten powoduje zwiększenie lepkości roztworu, ale nie tworzy żelu. W przypadku globulin sojowych minimalne (graniczne) stężenie białka niezbędne do utworzenia żelu w wyni-

ku działania tego enzymu wynosi powyżej 8% [Kołakowski, Sikorski 2001; Gaspar, Góes-Favoni 2015].

Optymalne pH dla aktywności mTG mieści się w zakresie 5,0–9,0 (optymalne 5,5), a punkt izoelektryczny wynosi około 8,9–9 [Hong, Xiong 2012; Gaspar, Góes-Favoni 2015; Sadowska, Diowks 2016]. Jednak wartość optymalnego pH dla mTG zależy od użytego substratu. W przypadku izolatów białka sojowego najsilniejsze żele enzym ten tworzy w pH 9,0 [Kołakowski, Sikorski 2001; Gaspar, Góes-Favoni 2015; Queirós i in. 2018].

Zakres temperatur, w którym mTG wykazuje dużą aktywność, jest stosunkowo szeroki: od 40°C do około 70°C (temperatura dezaktywacji mTG). Nie bez znaczenia dla efektu sieciowania białek przez mTG jest także czas inkubacji. Dla białka sojowego najtwardszy żel zostanie uzyskany podczas inkubacji przez 1–4 h w temperaturze optymalnego działania preparatu enzymatycznego [Camolezi Gaspar i in. 2015; Taghi Gharibzahedia i in. 2018; Isleroglu i in. 2018].

4. Przykłady wykorzystania transglutaminazy mikrobiologicznej w wyrobach bezglutenowych

Zastosowanie mTG daje możliwość łączenia surowców białkowych (bezglutenowych roślin zbożowych i niezbóżowych) w struktury bardziej pożądane pod względem tekstualnym i użytkowym. Dodatek enzymu wpływa korzystnie na objętość, teksturę i wewnętrzną strukturę wyrobów piekarskich [Markowska i in. 2015; Gobetti i in. 2018].

Diowks i Leszczyńska [2016] wykazały pozytywny wpływ mTG na strukturę miększu, wydajność i wzrost objętości pieczywa pszennego o małej zawartości glutenu. Ponadto autorki stwierdziły, że mTG powoduje znaczne zmniejszenie immunoreaktywności, co należy traktować jako badania wstępne nad wykorzystaniem mąk niskoglutennych do produkcji wyrobów bezglutenowych, a może nawet w przyszości bezpiecznego chleba dla osób chorych na celiakię.

Coraz częściej stosuje się różne kombinacje hydrokoloidów, białek nieglutenowych oraz mTG w celu zastąpienia glutenu, spełniającego rolę czynnika strukturotwórczego pieczywa. Autorzy wskazują na synergiczne działania m.in. enzymu mTG i gumy guar, które uwydatnią korzyści ze stosowania obu tych substancji. Wpływa to na polepszenie właściwości reologicznych ciasta, a w konsekwencji jakości pieczywa bezglutenowego [Steffolani i in. 2010; Mohammadi i in. 2015].

Dodatek gumy ksantanowej oraz mTG do pieczywa bezglutenowego znacząco poprawia elastyczność miększu chleba, a dodatek β -glukanu poprawia objętość i porowatość wypieków [Dłużewska, Marciniak-Łukasiak 2014].

Równie istotne dla osób stosujących dietę bezglutenową są wyroby cukiernicze. Shaabani z zespołem [2018] badali wpływ izolatu białka ciecierzycy oraz mTG i gumy ksantanowej na cechy reologiczne i jakościowe bezglutenowych babeczek

(muffinek) z prosa. Wykazali, że dodatek gumy ksantanowej zwiększył objętość właściwą, a także porowatość oraz zmniejszył twardość wypieku. Możliwe jest zatem otrzymanie sieci białkowej w bezglutenowych muffinach przez dodanie mTG oraz białka z ciecierzycy. Skuteczność działania tego enzymu jest zależna zarówno od zawartości białka, jak i stężenia mTG [Shaabani i in. 2018].

Inni autorzy również badali działanie mTG w połączeniu z różnymi dodatkami strukturotwórczymi. Mohammadi i in. [2015] badali wpływ gumy guar (w stężeniu 20–30 g kg⁻¹) w połączeniu z mTG (w ilości 0,1–10 U g⁻¹) na parametry jakościowe chleba bezglutenowego otrzymanego na bazie mąki ryżowej. Z badań wynika, że dodatek gumy guar znacznie zwiększył objętość właściwą, prowadząc do niższej twardości miękiszu w porównaniu z próbą kontrolą. Najlepszymi cechami charakteryzowało się pieczywo zawierające 30 g kg⁻¹ gumy guar oraz 1 U g⁻¹ mTG.

Z kolei Onyango z zespołem [2010] wykazali pozytywny wpływ mTG na bezglutenowe ciasto ze skrobi manioku, sorgo oraz białka jaja kurzego. Ciasto zmodyfikowane za pomocą mTG charakteryzowało się lepszą elastycznością i lepkością. Badacze zauważyli także, że zwiększenie stężenia preparatu mTG do 0,5 U g⁻¹ nie zainicjowało dalszych istotnych reologicznych zmian w cieście. Chleb otrzymany z takiego ciasta wykazywał zwiększoną żuwalność, ale nie miało to wpływu na jego sprężystość. Podczas przechowywania pieczywa zaobserwowano zmniejszenie sprężystości oraz żuwalności produktu, ale taki chleb miał bardzo sypką konsystencję, co zapewne wynika z dużego udziału skrobi.

Zainteresowanie produktami bezglutenowymi jest tak duże, że coraz częściej podejmowane są także próby otrzymania regionalnych produktów w wersji bezglutenowej. Z badań opublikowanych w 2018 roku wynika, że do otrzymywania tradycyjnego tureckiego ciasta revani w wersji bezglutenowej można wykorzystać mąkę kukurydzianą (62,5%), mąkę ryżową (37,5%) z białkiem sojowym oraz mTG. Tradycyjnie revani to deser wykonany z semoliny i syropu, który jest spożywany głównie w krajach Bliskiego Wschodu i w Turcji. Jednak pacjenci z celiakią nie mogą spożywać revani, ponieważ semolina zawiera gluten. Z badań wynika, że nowe źródła białka oraz mTG nie wpłynęły na zmianę cech sensorycznych bezglutenowego revani wykonanego z mieszanki mąki kukurydzianej i mąki ryżowej z białkiem sojowym [Yildirim i in. 2018].

Wypieki chlebowe pojawiają się niemalże w każdym kraju i kulturze. Chleb jest spożywany często codziennie, a nawet kilka razy dziennie. To właśnie dlatego badacze poszukują możliwości poprawy jakości bezglutenowego chleba.

Pongjaruvat z zespołem [2014] podjęli próbę zbadania wpływu działania żelowanej skrobi z tapioki i mTG na reologię ciasta i jakość bezglutenowego pieczywa z mąki ryżowej (jaśminowej). Chleb otrzymany bez dodatków charakteryzował się niską objętością (1,9 cm³/g) oraz wysoką twardością miękiszu. 30-procentowy udział dodatku skrobi nieznacznie zmniejszył elastyczność ciasta przy jednoczesnym zwiększeniu odporności na odkształcenia oraz zwiększył objętość pieczywa (2,4 cm³/g). Dodatek skrobi z tapioki spowodował również niższą twardość mięki-

szu i zuwalność. Zbadano także wpływ dodatku mTG w ilości 0,1–1% (w przeliczeniu na wagę mąki). Wykorzystanie mTG spowodowało zwiększenie objętości chleba oraz zmniejszenie twardości i zuwalności mięksizu. Nie stwierdzono natomiast wpływu mTG na spoistość oraz sprężystość pieczywa. Badania wykazały, że zarówno wstępne żelowanie skrobi z tapioki, jak i dodatek mTG dają obiecująco użyteczne wyniki dla produkcji ryżowego chleba bezglutenowego o lepszej jakości. Podjęto także próbę zastąpienia mąki pszennej, mąką z prosa w celu uzyskania pieczywa, wykorzystując dodatkowo emulgatory, mTG oraz ksylanazę. Badano dodatki różnych proporcji mąk. Dodatek emulgatorów pozwolił na zwiększanie udziału prosa w mieszance mąk. mTG poprawiła strukturę porów, zwiększyła objętość chleba. Synergiczne działanie wykazał dodatek ksylanazy i mTG. Zwiększył on o 25% objętość chleba (przy udziale mąk 50:50). Większy dodatek mąki z prosa (30 g na 100 g i więcej) wymagał zwiększenia wilgotności ciasta. Przez dodanie emulgatora i enzymów możliwe było otrzymanie pieczywa wykazującego zadowalającą jakość z 50% udziałem mąki z prosa [Schoenlechner i in. 2013]. Może być to ciekawy kierunek rozwoju produktów bezglutenowych.

Analizowano także działanie mTG na tworzenie sieci z bezglutenowych mąk (ryżowej brązowej, gryczanej, kukurydzianej, owsianej, z sorgo i z teffu) [Renzetti i in. 2007]. Chleb na bazie mąki gryczanej oraz ryżowej z dodatkiem mTG charakteryzował się lepszym wyglądem makroskopowym oraz parametrami reologicznymi. mTG wykazała negatywny wpływ na mąkę kukurydzianą (utrata elastyczności wypieków). Nie zaobserwowano wpływu mTG na pieczywo z owsa, sorgo oraz teffu. Z badań wynika, iż mTG może być z powodzeniem stosowana do poprawy jakości pieczywa z mąki bezglutenowej, jednak źródło białka jest kluczowym elementem określającym działanie tego enzymu.

5. Zakończenie

Z każdym rokiem wzrasta liczba osób, u których zdiagnozowano choroby związane z glutenem, a dieta bezglutenowa jest często zalecana także jako środek wspomagający w wielu schorzeniach o podłożu autoimmunologicznym. Na rosnące potrzeby konsumenckie odpowiedział rynek. Producenci sięgają po nowe rozwiązania z zakresu nauki, a także czerpią pomysły z różnych branż przemysłu spożywczego. Odpowiadając na potrzeby klientów, poprawiają jakość produktów bezglutenowych i korzystają z bardziej zróżnicowanych surowców niż jeszcze kilka lat temu. Wyniki badań naukowych także są obiecujące i dają nadzieję na pełnowartościowy posiłek dla osób z alergiami i nietolerancjami pokarmowymi.

W dalszym ciągu jakość produktów bezglutenowych jest niższa niż konwencjonalnych, dlatego słuszne wydaje się prowadzenie badań nad poprawą jakością wyrobów bezglutenowych, które do tej pory najczęściej tylko syciły, ale nie odpowiadały na potrzeby żywieniowe osób stosujących dietę bezglutenową (często przez całe życie).

Wykorzystanie preparatów enzymatycznych transglutaminazy mikrobiologicznej daje szansę na poprawę właściwości reologicznych wyrobów bezglutenowych (głównie z branży piekarskiej), ale także stwarza możliwości wykorzystania do produkcji żywności roślin bezglutenowych bogatych w witaminy i składniki odżywcze.

Istotne jest jednak, aby każdy użyty preparat oraz wprowadzone modyfikacje w produktach spożywczych, zwłaszcza przeznaczonych dla tak ukierunkowanej grupy odbiorców, jaką są osoby chore na celiakię, były dokładnie zbadane, a informacje o ich działaniu przekazywane w sposób jasny i precyzyjny dla konsumentów, a w tym przypadku także pacjentów chorujących na choroby glutenozależne.

Literatura

- Amirdivani S., Khorshidian N., Fidelis M., Granato D., Koushki M.R., Mohammadi M., Khoshtinat K., Mortazavian A.M., 2018, *Effects of transglutaminase on health properties of food products*, Food Science, no. 22, s. 74–80.
- Camolezi Gaspar A.L., de Góes-Favoni S.P., 2015, *Action of microbial transglutaminase (mTGase) in the modification of food proteins: A review*, Food Chemistry, no. 171, s. 315–322.
- Diowksz A., Leszczyńska J., 2016, *Wpływ transglutaminazy na jakość i immunoaktywność pieczywa pszenneego o małej zawartości glutenu*, [w:] *Rola procesów technologicznych w kształtowaniu jakości żywności*, PTTŻ, Kraków.
- Dłużewska E., Marciniak-Lukasiak K., 2014, *Właściwości teksturalne pieczywa bezglutenowego*, Acta Agrophysica, vol. 21(4).
- Fatima S.W., Khare S.K., 2018, *Current insight and futuristic vistas of microbial transglutaminase in nutraceutical industry*, Microbiological Research, no. 215, s. 7–14.
- Foschia M., Horstmann S., Arendt E.K., Zannini E., 2016, *Nutritional therapy – Facing the gap between coeliac disease and gluten-free food*, International Journal of Food Microbiology, no. 239, s. 113–124.
- Gharibzahedia S.M.G., Chronakis I.S., 2018, *Crosslinking of milk proteins by microbial transglutaminase: Utilization in functional yogurt products*, Food Chemistry, no. 245, s. 620–632.
- Giosafatto C.V.L., Rigby N.M., Wellner N., Ridout M., Husband F., Mackie A.R., 2012, *Microbia transglutaminase-mediated modification of ovalbumin*, Food Hydrocolloids, no. 26, s. 261–267.
- Gobbetti M., Pontonio E., Filannino P., Rizzello C.G., De Angelis M., Di Cagno R., 2018, *How to improve the gluten-free diet: The state of the art from a food science perspective*, Food Research International, no. 110, s. 22–32.
- Hoffmann M., Jędrzejczyk H., 2007, *Żywność bezglutenowa – legislacja i aspekty technologiczne jej produkcji*, Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego, nr 1, Warszawa, s. 68.
- Hong G.P., Xiong Y.L. 2012, *Microbial transglutaminase-induced structural and rheological changes of cationic and anionic myofibrillar proteins*, Meat Science, no. 91, s. 36–42.
- Isleroğlu H., Turker I., Tokatli M., Koc B., 2018, *Ultrasonic Spray-Freeze Drying of Partially Purified. Microbial Transglutaminase*, Food and Bioproducts Processing.
- Jaros D., Partschefeld C., Henle T., Rohm H., 2006, *Transglutaminase in dairy products: Chemistry, physics, applications*, J. Texture Stud., no. 37, s. 113–155.
- Jaros M., Wierzejska R., 2016, *Celiakia*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa.

- Jin M., Huang J., Pei Z., Huang J., Gao H., Chang Z., 2016, *Purification and characterization of a high-salt-resistant microbial transglutaminase from Streptomyces mobaraensis*, Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic, no. 133, s. 6–11.
- Kaewprachu P., Osako K., Tongdeesontorn W., Rawdkuena S., 2017, *The effects of microbial transglutaminase on the properties of fish myofibrillar protein film*, Food Packaging and Shelf Life, no. 12, s. 91–99.
- Kashiwagi T., Yokoyama K., Ishikawa K., Ono K., Ejima D., Matsui H., Suzuki E., 2002, *Crystal structure of microbial transglutaminase from Streptovorticillium mobaraense*, J. Biol. Chem., s. 277.
- Kączkowski J., 2005, *Transglutaminase – An enzyme group of extended metabolic and application. Possibilities*, Pol. J. Food Nutr. Sci., no. 14/55(1), s. 3–12.
- Kieliszek M., Misiewicz A., 2014, *Microbial transglutaminase and its application in the food industry. A review*, Folia Microbiol, no. 59, s. 241–250.
- Kolakowski E., Sikorski Z., 2001, *Transglutaminaza i jej wykorzystanie w przemyśle żywnościowym*, Żywność, nr 2(27).
- Kunachowicz H. (red.), 2017, *Dieta bezglutenowa – co wybrać?*, PZWL, Warszawa.
- Lange E., 2013, *Produkty bezglutenowe na rynku polskim*, Handel Wewnętrzny, nr 4(345), s. 66–69, s. 83–95.
- Liu X., Mua T., Sun H., Zhang M., Chen J., Fauconnier M.L., 2018, *Influence of different hydrocolloids on dough thermo-mechanical properties and in vitro starch digestibility of gluten-free steamed bread based on potato flour*, Food Chemistry, no. 239, s. 1064–1074.
- Lua Z., Zhang H., Luotoc S., Rend X., 2018, *Gluten-free living in China: The characteristics, food choices and difficulties in following a gluten-free diet – An online survey*, Appetite, no. 127, s. 242–248.
- Lynch K.M., Coffey A., Arendt E.K., 2018, *Exopolysaccharide producing lactic acid bacteria: Their techno-functional role and potential application in gluten-free bread products*, Food Research International, no. 110, s. 52–61.
- Marciniak-Lukasiak K., Skrzypacz M., 2008, *Koncentrat chleba bezglutenowego z dodatkiem mąki z szarlatu*, ŻYWNOSĆ. Nauka. Technologia. Jakość, nr 4(59), s. 131–140.
- Markowska J., Polak E., Kasprzyk I., 2015, *Zastosowanie preparatów handlowych transglutaminazy pochodzenia mikrobiologicznego do wytworzenia mrożonych formowanych wyrobów z rozdrobionego mięsa ryb*, Wydawnictwo Naukowe PTTŻ, Kraków.
- Mir S.A., Shah M.A., Naik H.R., Zargar I.A., 2016, *Influence of hydrocolloids on dough handling and technological properties of gluten-free breads*, Trends in Food Science & Technology, no. 51, s. 49–57.
- Mohammadi M., Azizi M.-H., Neyestani T.R., Hosseini H., Mortazavian A.M., 2015, *Development of gluten-free bread using guar gum and transglutaminase*, Journal of Industrial and Engineering Chemistry, no. 21, s. 1398–1402.
- Morreale F., Garz R., Rosell C.M., 2018, *Understanding the role of hydrocolloids viscosity and hydration in developing gluten-free bread. A study with hydroxypropylmethylcellulose*, Food Hydrocolloids, no. 77, s. 629–635.
- Naqash F., Gani A., Gani A., Masoodi F.A., 2017, *Gluten-free baking: Combating the challenges – A review*, Trends in Food Science and Technology, no. 66, s. 98–107.
- Onyango C., Mutungi Ch., Unbehend G., Lindhauer M.G., 2010, *Rheological and baking characteristics of batter and bread prepared from pregelatinised cassava starch and sorghum and modified using microbial transglutaminase*, Journal of Food Engineering, no. 97, s. 465–470.
- Ozturk O.K., Mert B., 2018, *The effects of microfluidization on rheological and textural properties of gluten-free corn breads*, Food Research International, no. 105, s. 782–792.
- Placek W. (red.), 2015, *Dieta w chorobach skóry*, Wydawnictwo Czelej, Lublin.

- Pongjaruvat W., Methacanon P., Seetapan N., Fuongfuchat A., Gamonpilas Ch., 2014, *Influence of pregelatinised tapioca starch and transglutaminase on dough rheology and quality of gluten-free jasmine rice breads*, Food Hydrocolloids, no. 36, s. 143–150.
- Pyrcz J., Kowalski R., Danyluk B., Biłska A., 2012, *Technologiczna przydatność preparatów transglutaminazy w produkcji szynki parzonej*, Nauka Przyroda Technologie, nr 6/4.
- Queirósa R.P., Gouveia S., Saraiva J.A., Lopes-da-Silva J.A., 2018, *Impact of pH on the high-pressure inactivation of microbial transglutaminase*, Food Research International.
- Renzetti S., Bello F., Arendt A.K., 2008, *Microstructure, fundamental rheology and baking characteristics of batters and breads from different gluten-free flours treated with a microbial transglutaminase*, Journal of Cereal Science, no. 48, s. 33–45.
- Romeih E., Walker G., 2017, *Recent advances on microbial transglutaminase and dairy application*, Trends in Food Science & Technology, no. 62, s. 133–140.
- Rybicka I., Gliszczyńska-Świągło A., 2014, *Ocena zawartości witamin z grupy B w owsianych produktach bezglutenowych*, Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, nr 576, s. 112.
- Sadowska A., Diowksz A., 2016, *Właściwości transglutaminazy i jej rola w piekarnictwie*, Żywność. Nauka. Technologia. Jakość, nr 5(108).
- Scarnato L., Montanari Ch., Serrazanetti D.I., Aloisi I., Balestra F., Del Duca S., Lanciotti R., 2017, *New bread formulation with improved rheological properties and longer shelf-life by the combined use of transglutaminase and sourdough*, LWT – Food Science and Technology, no. 81, s. 101–110.
- Schoenlechner R., Szatmari M., Bagdi A., Tömösközi S., 2013, *Optimisation of bread quality produced from wheat and proso millet (*Panicum miliaceum L.*) by adding emulsifiers, transglutaminase and xylanase*, LWT – Food Science and Technology, no 51, s. 361–366.
- Seravalli E.G., Iguti A.M., Santana A.A., Filho F.F., 2011, *Effects of application of transglutaminase in wheat proteins during the production of bread*, Procedia Food Science, no. 1, s. 935–942.
- Shaabani S., Yarmand M.S., Kiani H., Emam-Djomeh Z., 2018, *The effect of chickpea protein isolate in combination with transglutaminase and xanthan on the physical and rheological characteristics of gluten free muffins and batter based on millet flour*, LWT – Food Science and Technology, no. 90, s. 362–372.
- Steffolani M.E., Ribotta P.D., Pérez G.T., León A.E., 2010, *Effect of glucose oxidase, transglutaminase, and pentosanase on wheat proteins: Relationship with dough properties and bread-making quality*, Journal of Cereal Science, no. 51, s. 366–373.
- Taghi Gharibzahedia S.M., Koubaab M., Barbac F.J., Greinerd R., Geesee S., Roohinejad S., 2018, *Recent advances in the application of microbial transglutaminase crosslinking in cheese and ice cream products: A review*, International Journal of Biological Macromolecules, no. 107, s. 2364–2374.
- Wojtasik A., Kunachowicz H., Daniewski W., 2008, *Aktualne wymagania dla produktów bezglutenowych w świetle ustaleń kodeksu żywnościowego*, Bromat. Chem. Toksykol., XLI, 3, s. 229–230.
- Yildirima R.M., Gumusb T., Aricia M., 2018, *Optimization of a gluten free formulation of the Turkish dessert revani using different types of flours, protein sources and transglutaminase*, LWT – Food Science and Technology, no. 95, s. 72–77.
- Yokoyama K., Nio N., Kikuchi Y., 2004, *Properties and applications of microbial transglutaminase*. Appl. Microbiol. Biotechnol., no. 64, s. 447–454.
- Zys A., Garncarek Z., 2017, *Jakość pieczywa gryczanego z dodatkiem mąk bezglutenowych*, Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, nr 494, s. 225–256.