Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych
nr 575, 2013, 13–21

INSTRUMENTALNA OCENA AKUSTYCZNYCH I MECHANICZNYCH WYRÓŻNIKÓW TEKSTURY CIASTEK KRUCHYCH Z INULINĄ

Arleta Błońska, Agata Marzec, Anika Błaszczyk
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Streszczenie. Celem pracy była instrumentalna ocena akustycznych i mechanicznych wyróżników tekstury ciastek kruchych z udziałem cukru 37,0; 35,2; 33,3% (w stosunku do mąki) oraz inuliny 0; 1,8; 3,7% (w stosunku do mąki). Ciastka poddano procesowi trójpunktowego łamania w maszynie wytrzymałościowej ZWICK 1445 z prędkością 20 $mm \cdot min^{-1}$, jednocześnie rejestrując emisję akustyczną metodą kontaktową (czujnik 4381V firmy Brüel & Kjær). Oznaczono parametry mechaniczne: siłę i pracę łamania oraz akustyczne: amplitudę, liczbę zdarzeń emisji akustycznej, energię akustyczną. Wartości akustycznych i mechanicznych wyróżników tekstury ciastek kruchych zależą od udziału inuliny w ich recepturze. Dodatek inuliny 1,8% spowodował słabszą emisję akustyczną oraz obniżenie siły i pracy łamania. Ciastka o udziale cukru 35,2% i inuliny 1,8% miały teksturę najbardziej podobną do próbki kontrolnej (cukier 37%, inulina 0%). Obniżenie udziału cukru z 37 do 33,2% (w stosunku do mąki) i dodatek inuliny spowodował, że ciastka były twardsze i generowały silniejszą emisję akustyczną niż ciastka kontrolne.

Słowa kluczowe: ciastka kruche, inulina, emisja akustyczna, właściwości mechaniczne

WSTĘP

Ciastka kruche są popularnym produktem, spożywanym niemal przez wszystkich ludzi, bez względu na ich poziom zamożności. W Polsce spożycie ciastek wynosi około 4,5 kg/osobę/rok i ciągle rośnie. Roczne spożycie wyrobów ciastkarskich

Adres do korespondencji – Corresponding author: Arleta Błońska, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Nauk o Żywności, Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, ul. Nowoursynowska 159c, 02-787 Warszawa, e-mail: arleta_blonska@sggw.pl

w Wielkiej Brytanii wynosi 11 kg, a w Irlandii 15 kg. Powszechna popularność ciastek spowodowana jest ich niską ceną, dobrą jakością odżywczą, dostępnością w różnych smakach oraz długim okresem trwałości. Ciastka kruche charakteryzują się dużą zawartością cukru i tłuszczu oraz niską wilgotnością na poziomie 1–5% [Chevallier i in. 2000]. Obecnie konsumenci oczekują żywności o zmniejszonej wartości kalorycznej.

Reformulacja tradycyjnych produktów, takich jak ciastka kruche, może być użytecznym narzędziem do zapewnienia ludności zdrowszych przekąsek [Tarancón i in. 2013]. Jednak to pociąga za sobą zmiany właściwości strukturalnych i jakości sensorycznej.

Tłuszcz w produktach ciastkarskich pełni wiele funkcji, nadaje i poprawia smak, wpływa na teksturę, intensyfikuje uczucie kruchości i percepcję produktu w czasie jedzenia [Zoulias i in. 2002]. Cukier natomiast pozwala na wprowadzenie powietrza do tłuszczu podczas przygotowania ciasta, zmniejsza także lepkość ciasta, zapewnia słodycz, wpływa na strukturę i teksturę gotowych wyrobów [Maache-Rezzoug i in. 1998]. Od zawartości cukru w ciastkach zależy ich twardość, kruchość i objętość. W wyrobach ciastkarskich najczęściej stosowana sacharoza może być zastąpiona substancjami słodzącymi, słodszymi i mniej kalorycznymi, takimi jak: sacharyna, acesulfam – K, aspartam. Cukier można również zastąpić tzw. wypełniaczem (na przykład maltodekstryną z sukralozą), który ma właściwości funkcjonalne oraz korzystnie wpływa na teksturę ciastek i ich smak [Savitha i in. 2008].

Ponadto, coraz częściej stosowane są prebiotyki, których przykładem jest inulina posiadająca różne właściwości technologiczne w zależności od struktury chemicznej. Inulina o krótkim łańcuchu jest rozpuszczalna, słodka i stosowana do częściowej zamiany sacharozy [Villegas i in. 2010]. Z kolei inulina o długim łańcuchu jest trudniej rozpuszczalna, bardziej lepka i może być stosowana do wytwarzania ciastek o obniżonej zawartości tłuszczu [Tárrega i in. 2011]. Inulina nie ulega trawieniu, stymuluje rozwój bifidobakterii i obniża poziom bakterii niekorzystnych w przewodzie pokarmowym, dlatego też stosowana jest na świecie jako składnik żywności funkcjonalnej [Kelly 2008]. Inulina zaliczana jest do składników rozpuszczalnego błonnika pokarmowego, który dociera w niezmienionej formie do jelita grubego, ponieważ nie jest trawiony w jelicie cienkim. Badania na szczurach wykazały, że zastosowanie diet zawierających fruktany (inuliny, oligofruktozy) spowodowało istotnie większą biodostępność wapnia i magnezu [Gibson i Rastall 2006]. Inulina stosowana w produkcji spożywczej pełni rolę czynnika teksturo- oraz strukturotwórczego, wpływającego pozytywnie na konsystencję i smarowność, podkreślającego smak i zapach produktu, a także stabilizującego emulsje i piany. Zastosowanie inuliny do produkcji wyrobów ciastkarskich pozwala na zmniejszenie ich kaloryczności, zwiększenie objętości i poprawę tekstury.

Celem pracy była instrumentalna ocena akustycznych i mechanicznych wyróżników tekstury ciastek kruchych, w których tłuszcz częściowo zastąpiono inuliną.

MATERIAŁ I METODY

Materiał badany stanowiły ciastka kruche wypiekane w warunkach laboratoryjnych. Receptura próbki kontrolnej C1 pochodziła z warszawskiej cukierni. Ciastka zawierały w swoim składzie: mąkę pszenną typ 500 (wilgotność – 14%), margarynę (zawartość tłuszczu – 82%), cukier puder, śmietanę (zawartość tłuszczu – 36%), cukier wanilinowy, kwaśny węglan amonu oraz dodatek inuliny Orafti GR (tab. 1).

Składniki sypkie przesiewano przez sito i za pomocą miksera Zelmer Symbiofitline (Polska), stosując program 1, połączono je z tłuszczem. Po 3 minutach mieszania dodawano śmietanę i stosując program 4, mieszano kolejne 5 minut. Po wymieszaniu, ciasto schładzano przez 30 minut w zamrażarce Gorenje (Polska), w temperaturze –24°C. Następnie ciasto wałkowano na placki o grubości 5 mm i pieczono w temperaturze 180°C w piekarniku elektrycznym Amica (Polska). W celu wyeliminowania zmiany kształtu ciastek w czasie wypieku, podpieczone ciasto wyjmowano z piekarnika po 15 minutach i wykrawano ciastka o wymiarach 65 × 50 mm, a następnie podpiekano jeszcze przez 5 minut. Po wypieku ciastka studzono (około 1 godzinę, w temperaturze 25°C), po czym zapakowano je w torebki z PAPE (poliamid/polietylen) w pakowarce próżniowej PP – 5.4 TEPRO SA (Polska).

Ciastka przechowywano przez dwa miesiące w warunkach kontrolowanych (temperatura 25°C, wilgotność 30%, bez dostępu światła), następnie oznaczono w nich aktywność wody (w Rotronicu, Szwajcaria) i wilgotność (wg Polskiej Normy 1984).

Przeprowadzono instrumentalne pomiary tekstury ciastek, wykonując trójpunktowy test łamania produktu (odległość między podporami wynosiła 24 mm), ze stałą prędkością 20 $mm \cdot min^{-1}$, w maszynie wytrzymałościowej Zwick 1445 (GmbH, Niemcy). Jednocześnie rejestrowano emisję akustyczną (EA) za pomocą czujnika typu 4381V firmy Brüel & Kjżr (Dania). Sygnał EA wzmacniano o 40 dB i podawano na wejście mikrofonu karty analogowo-cyfrowej Adlink PCI 9112 (Tajwan). Częstotliwość próbkowania sygnału wynosiła 44,1 kHz. Testy instrumentalne wykonywano w 11 powtórzeniach dla każdego rodzaju ciastek.

Wyróżniki mechaniczne (siłę oraz pracę łamania) wyznaczono za pomocą programu TableCurve 2D v3 z krzywych łamania w układzie siła–czas. Wyróżniki akustyczne: amplitudę, liczbę zdarzeń EA, energię akustyczną wyznaczono za pomocą programu Calculate_44kHz_auto, przy poziomie dyskryminacji 500 µV. Sygnał akustyczny generowany podczas łamania próbek rejestrowano i analizowano w przedziale częstotliwości 0,1–16 kHz.

Planowanie eksperymentu oraz statystyczną ocenę uzyskanych wyników przeprowadzono za pomocą programu StatSoft – Statistica 10. Podziału na grupy jednorodne w przypadku rozkładu normalnego dokonano za pomocą analizy wariancji (ANOVA). Istotność różnic między średnimi określano stosując test Duncana, przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$. W przypadku, gdy występował rozkład odmienny od normalnego, podziału na grupy jednorodne dokonano przy użyciu nieparametrycznego testu porównań wielokrotnych (testu Kruskala-Wallisa). Zastosowano analizę składowych głównych z klasyfikacją (PCA, Principal Component Analysis).

Tabela 1. Skład recepturowy ciastek kruchych z inuliną oraz ich aktywność wody i wilgotność
Table 1. The formula of biscuits with inulin and water activity and moisture

Rodzaj ciastek kruchych Biscuits type	Udział składników w stosunku do mąki The proportion relative of flour [%]								
	mąka pszenna wheat flour	margaryna margarine	inulina gr inulin gr	cukier puder powdered sugar	śmietana sour cream	cukier wanilinowy vanilla sugar	kwaśny węglan amonu ammonium bicarbonate	aktywność wody water activity	wilgotność moisture
C1 Kontrolna Control	100	74,1	0,0	37,0	17,4	5,9	0,4	0,432 ±0,008[a]	5,4 ±0,0[a]
C2			1,8					0,421 ±0,000[a]	5,8 ±0,1[a]
C3			3,7					0,376 ±0,001[a]	5,2 ±0,0[a]
C4	100	74,1	0	35,2	17,4	5,9	0,4	0,423 ±0,011[a]	5,8 ±0,0[a]
C5			1,8					0,377 ±0,004[a]	5,0 ±0,0[a]
C6			3,7					0,401 ±0,004[a]	5,5 ±0,0[a]
C7	100	74,1	0,0	33,3	17,4	5,9	0,4	0,430 ±0,004[a]	5,6 ±0,0[a]
C8			1,8					0,436 ±0,004[a]	5,7 ±0,1[a]
C9			3,7					0,407 ±0,001[a]	5,4 ±0,1[a]

[a] – grupy jednorodne / homogeneous groups

WYNIKI I DYSKUSJA

Ciastka charakteryzowały się aktywnością wody od 0,376 do 0,436% oraz wilgotnością od 5,0 do 5,8%. Zaobserwowane różnice nie były istotne statystycznie (tab. 1), co w tym przypadku oznacza, że różnice w wartościach akustycznych i mechanicznych wyróżników tekstury badanych próbek ciastek nie zostały wywołane aktywnością wody i wilgotnością.

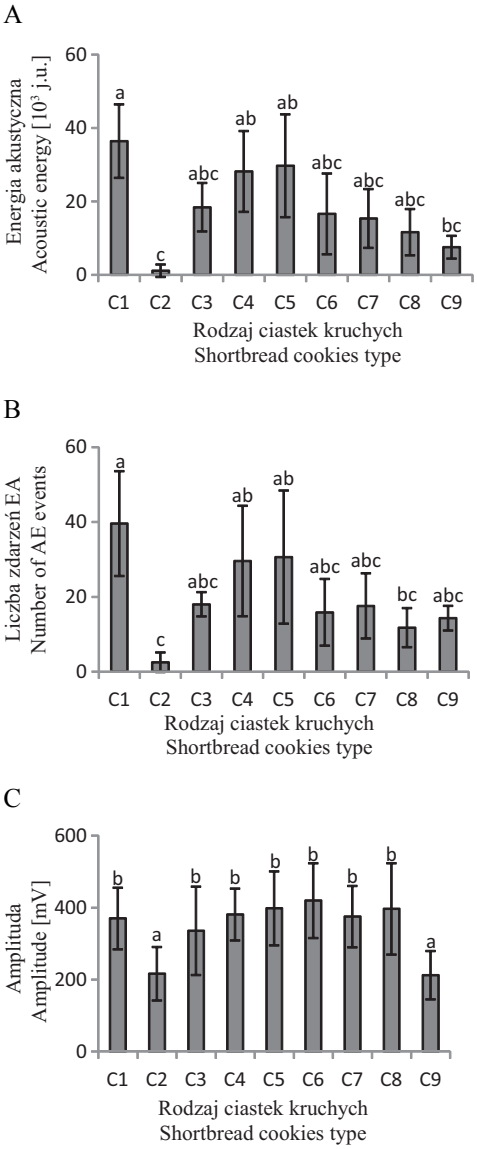
Wyznaczone w teście łamania wyróżniki akustyczne i mechaniczne opisujące teksturę ciastek charakteryzowały się bardzo dużym odchyleniem standardowym (rys. 1, 2). Prawdopodobnie było to spowodowane heterogeniczną strukturą ciastek. W wielu pracach wykazano, że ciastka kruche są produktami o heterogenicznej strukturze, charakteryzującej się występowaniem komór powietrznych o małej i dużej powierzchni oraz porowatością otwartą [Maache-Rezzoug i in. 1998, Błońska 2012, Marzec 2012].

Przy stałym udziale cukru w recepturze ciastek dodatek inuliny spowodował obniżenie wartości deskryptorów akustycznych (energii akustycznej, liczby zdarzeń EA). Jednak energią akustyczną statystycznie istotnie różniły się od próbki kontrolnej (C1) tylko ciastka C2 i C9, a liczbą zdarzeń ciastka C2 i C8 (rys. 1). Analiza amplitudy dźwięku również wykazała istotnie różnice między próbką kontrolną (C1) a ciastkami C2 i C9 (rys. 1). Spośród badanych ciastek, ciastka C2, o 37-procentowym udziale cukru oraz 1,8-procentowym udziale inuliny w recepturze, charakteryzowały się najniższymi wartościami każdego wyróżnika akustycznego (rys. 1).

Obniżenie udziału cukru z 37 do 33,3% (C1, C4, C7) w recepturze ciastek bez inuliny spowodowało zmniejszenie wartości deskryptorów akustycznych, ale różnice nie były statystycznie istotne (rys. 1).

Zmiana składu recepturowego ciastek istotnie wpływała na wyróżniki mechaniczne tekstury. Przy 37- i 35,2-procentowym udziale cukru w recepturze ciastek dodatek 1,8% inuliny spowodował zmniejszenie siły i pracy łamania, a przy 33,3-procentowym udziale cukru dopiero 3,7-procentowy dodatek inuliny wywołał statystycznie istotne obniżenie wartości wyróżników mechanicznych (rys. 2).

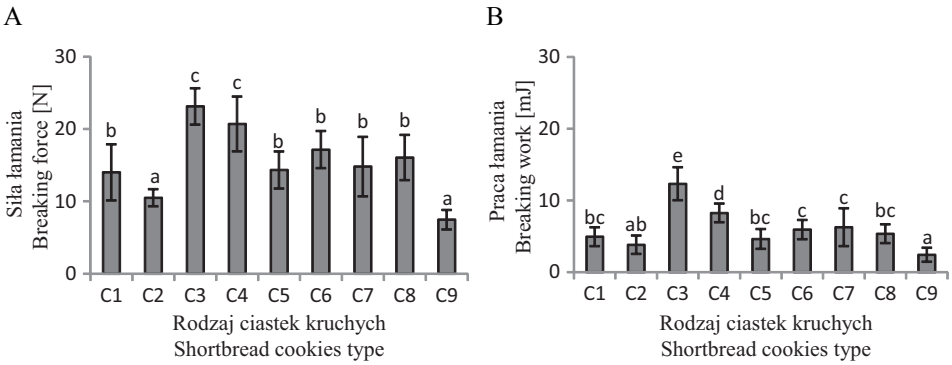
W ciastkach C3, o 37-procentowym udziale cukru, 3,7-procentowy udział inuliny spowodował istotny wzrost siły i pracy łamania (rys. 2). Według Handa i innych [2012], ciastka z dodatkiem fruktooligosacharydów (w tym inuliny o stopniu polimeryzacji DP 2-20) są miękkie, ponieważ fruktooligosacharydy nie ulegają rekrystalizacji, są bardzo dobrze rozpuszczalne i wiążą więcej wody niż sacharoza.



Rys. 1. Zmiany deskryptorów emisji akustycznej w zależności od rodzaju ciastek kruchych (A – energia akustyczna, B – liczba zdarzeń EA, C – amplituda, a, b, c – grupy homogeniczne)

Fig. 1. Changes in acoustic descriptors depending on biscuits type (A – acoustic energy, B – number of AE events, C – amplitude, a, b, c – homogeneous groups)

W recepturze ciastek bez inuliny obniżenie udziału cukru z 37 do 35,2% spowodowało statystycznie istotny wzrost wartości siły i pracy łamania, natomiast obniżenie udziału cukru do 33% nie wywołało istotnych zmian wyróżników mechanicznych (rys. 2). Marzec [2012] wykazała, że w ciastkach kruchych o 32-procentowym udziale tłuszczu w recepturze, obniżenie udziału cukru z 56 do 48% nie wpływało istotnie na właściwości mechaniczne, a dopiero przy obniżeniu udziału cukru do 30% wywołało istotne obniżenie wartości siły, pracy, naprężenia i modułu Younga wyznaczonych w teście łamania i penetracji. Zmiany właściwości mechanicznych ciastek kruchych mogą wynikać z wystąpienia przemiany fazowej składników. Produkt bezpośrednio po wypieku jest w stanie amorficznym, warunki przechowywania (wilgotność, temperatura, czas) mogą powodować, że przechodzi on w stan lepko-sprężysty, co może objawiać się zmianą właściwości mechanicznych [Luyten i in. 2004].

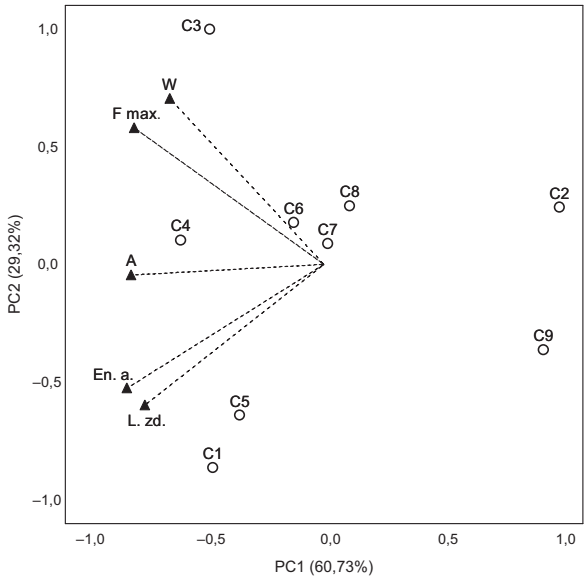


Rys. 2. Zmiany parametrów mechanicznych w zależności od rodzaju ciastek kruchych (A – siła łamania, B – praca łamania, a, b, c – grupy homogeniczne)

Fig. 2. Changes in mechanical parameters depending on biscuits type (A – breaking force, B – breaking work, a, b, c – homogeneous groups)

W celu zobrazowania zależności zachodzących pomiędzy akustycznymi oraz mechanicznymi wyróżnikami tekstury ciastek kruchych przeprowadzono analizę składowych głównych z klasyfikacją (PCA), biorąc pod uwagę średnie wyniki. Jako kryterium wyboru liczby składowych branych pod uwagę przy interpretacji posłużono się kryterium Kaisera oraz osypiska Cattella [Stanisz 2007]. Teksturę ciastek opisano przy użyciu dwóch składowych PC1 oraz PC2, wyjaśniających łącznie 90,05% jej zmienności (rys. 3).

Pierwszą składową (PC1) nazwano akustyczną, związaną z głośnością ciastek, ponieważ była tworzona przez energię akustyczną i amplitudę dźwięku, a drugą składową (PC2) nazwano mechaniczną, tworzoną przez parametry mechaniczne (siłę i pracę łamania) oraz liczbę zdarzeń EA, obrazującą twardość ciastek (tab. 2). Składowa akustyczna wyjaśniająca 60,7% zmienności tekstury ciastek ujemnie korelowała z wyróżnikami akustycznymi i mechanicznymi. Składowa mechaniczna wyjaśniająca 29,3% zmienności korelowała dodatnio z siłą i pracą łamania (tab. 2).



Rys. 3. Projekcja PCA instrumentalnych deskryptorów oraz różnic i podobieństw tekstury ciastek kruchych z inuliną (PC1 – pierwsza składowa główna, PC2 – druga składowa główna, A – amplituda dźwięku, L. zd. – liczba zdarzeń EA, En. a. – energia akustyczna, W – praca łamania, F max. – siła łamania, C1–C9 – rodzaj ciastek kruchych)

Fig. 3. PCA projection of instrumental descriptors and texture differences and similarities of biscuits with inulin (PC1 – the first main component, PC2 – the second main component, A – amplitude, L. zd. – number of AE events, En. a. – acoustic energy, W – breaking work, F max. – maximum breaking force, C1–C9 – shortbread cookies type)

Tabela 2. Wkład analizowanych wyróżników tekstury ciastek w tworzenie składowych głównych

Table 2. Contributions of the descriptors texture of biscuits in the formation of principal components

Wyróżnik tekstury ciastek kruchych Descriptors texture of biscuits	PC1	PC2	PC1	PC2
Energia akustyczna – Acoustic energy [j.u.]	0,231	0,188	–0,837	–0,525
Amplituda dźwięku – Amplitude [mV]	0,222	0,001	–0,820	–0,045
Liczba zdarzeń EA – Number of AE events	0,191	0,243	–0,762	–0,597
Siła łamania – Maximum breaking force [N]	0,215	0,230	–0,808	0,581
Praca łamania – Breaking work [mJ]	0,142	0,338	–0,656	0,704

Do próby kontrolnej C1 najbardziej zbliżoną teksturę miały ciastka C5 (rys. 3), ponieważ charakteryzowały się podobnymi właściwościami akustycznymi i mechanicznymi (rys. 1 i 2). Oznacza to, że obniżenie udziału cukru z 37,0 (ciastka C1) do 35,2 % i dodatek 1,8% inuliny (ciastka C5) w recepturze ciastek nie miał wpływu na teksturę ocenianą na podstawie instrumentalnych wyróżników akustycznych i mechanicznych.

Zaobserwowano natomiast grupę ciastek C6, C7, C8 położoną po prawej stronie i nad ciastkami C1 i C5, co oznacza, że grupa ta charakteryzowała się nieco silniejszą emisją akustyczną i znacznie większą twardością niż ciastka C1 i C5.

Analiza tekstury ciastek z uwzględnieniem dwóch składowych pozwala stwierdzić, że badane produkty można podzielić na grupy różniące się właściwościami akustycznymi i mechanicznymi.

WNIOSKI

1. Wartości akustycznych i mechanicznych wyróżników tekstury ciastek kruchych zależą od udziału inuliny w ich recepturze. Dodatek inuliny 1,8% (w stosunku do mąki) spowodował słabszą emisję akustyczną oraz obniżenie siły i pracy łamania.
2. Ciastka o udziale cukru 35,2% i inuliny 1,8% miały teksturę najbardziej podobną do próbki kontrolnej (udział cukru 37%, inuliny 0%).
3. Obniżenie udziału cukru z 37,0 do 33,3% (w stosunku do mąki) i dodatek inuliny spowodował, że ciastka były twardsze i generowały silniejszą emisję akustyczną niż ciastka kontrolne.

LITERATURA

Błońska A., 2012. Wpływ inuliny na właściwości strukturalne i sensoryczne ciastek kruchych. Praca magisterska. SGGW, KIŻiOP, Warszawa.

Chevallier S., Colonna P., Della Valle G., Lourdin D., 2000. Contribution of major ingredients during baking of biscuit dough systems. J. Cereal Sci. 31, 241–252.

Gibson G.R., Rastall R.A., 2006. Prebiotics: Development & Application. John Wiley & Sons Ltd, England.

Handa C., Goomer S., Siddhu A., 2012. Physicochemical properties and sensory evaluation of fructoligosaccharide enriched cookies. J. Food Sci. Technol. 49 (2), 192–199.

Kelly G., 2008. Inulin – Type Prebiotics – A Review: Part 1. Alternative Medicine Review 13 (4), 315–329.

Luyten H., Plijter J.J., Van Vliet T., 2004. Crispy/crunchy crusts of cellular solid foods: a literature review with discussion. J. Text. Stud. 35 (5), 445–492.

Maache-Rezzoug Z., Bouvier J-M., Allaf K., Patras C., 1998. Effect of principal ingredients on rheological behaviour of biscuit dough and on quality of biscuits. J. Food Eng. 35, 23–42.

Marzec A., 2012. Właściwości tekstualne ciastek kruchych w aspekcie ich struktury. Rozprawy Naukowe i Monografie. Wyd. SGGW, Warszawa.

PN-84/A-88027: 1984. Wyroby cukiernicze trwałe. Oznaczenie zawartości suchej masy.

Savitha Y.S., Indrani D., Prakash J., 2008. Effect of replacement of sugar with sucralose and maltodextrin on rheological characteristics of wheat flour dough and quality of soft dough biscuits. J. Text. Stud. 39 (6), 605–616.

Stanisz A., 2007. Przestępny kurs statystyki z zastosowaniem STATISTICA PL na przykładach z medycyny. Tom 3. Analizy wielowymiarowe. StatSoft. Kraków, 228–230.

Tarancón P., Sanz T., Salvador A. Tárrega A., 2013. Effect of fat on mechanical and acoustical properties of biscuits related to texture properties perceived by consumers. Food Bioprocess Technol. DOI 10.1007/s11947-013-1155-z.

Tárrega A., Torres J.D., Costell E., 2011. Influence of the chain-length distribution of inulin on the rheology and microstructure of prebiotic dairy desserts. J. Food Eng. 104, 256–363.
Villegas B., Tarrega A., Carbonell I., Costell E., 2010. Optimising acceptability of new prebiotic low-fat milk beverages. Food Qual. Preference 21, 234–242.
Zoulias E., Kounalaki E., Oreopoulou V., 2002. Effect of fat and sugar replacement on cookie properties. J. Sci. Food Agricult. 82, 1637–1644.

INSTRUMENTAL ASSESMENT OF THE CHOSEN MECHANICAL AND ACOUSTIC PROPERTIES OF BISCUITS TEXTURE CONTAINING INULIN

Summary. The aim of this work was instrumental assessment of mechanical and acoustic texture properties of biscuits with participation of sugar on the level 37.0, 35.2, 33.3% according to amount of flour as well as participation of inulin 0, 1.8, 3.7% in the recipe. The cookies underwent three-point process in the testing machine (ZWICK 1445) with the speed of 20 mm·min^{-1}. During the test acoustic emission was being registered by the contact method (sensor 4381V produced by the company Brüel & Kjćr). Mechanical parameters were measured (work and breaking force) and acoustic descriptors (amplitude, number of AE events, acoustic energy). Values of the acoustic and the mechanical features of biscuits texture depend on participation of inulin in the recipe. Addition of inulin on the level 1.8% caused decrease of values of the acoustic emission, the work and breaking force. Cookies with participation of sugar 35.2% and inulin 1.8% obtained the most similar texture to the control sample (sugar 37%, inulin 0%). Reduction of sugar participation from 37 to 33.3% and the addition of inulin caused the biscuits were harder and generated of acoustic emissions a stronger than the control biscuits.

Key words: biscuits, inulin, acoustic emission, mechanical properties