

MOŻLIWOŚĆ ZASTOSOWANIA WŁAŚCIWOŚCI ELEKTRYCZNYCH DO OKREŚLANIA ZAKRESU ZMIAN HYDROLITYCZNYCH W TŁUSZCZU MLEKOWYM

Celem badań było określenie możliwości zastosowania właściwości elektrycznych tłuszczu mlekowego do określania jego jakości na podstawie zmian hydrolitycznych. Wyniki badań wykazały, że największe zmiany parametrów elektrycznych uzyskano w zakresie od 0 do 10% udziału tłuszczu mlekowego zhydrolizowanego w ogólnej objętości tłuszczu, co odpowiada wzrostowi kwasowości do 8,9°K oraz zawartości wolnych kwasów tłuszczowych (WKT) do poziomu wywołującego zdecydowane zmiany sensoryczne (19,09 mEq/100 g tłuszczu). Największe zależności, określone wartościami współczynnika korelacji, uzyskane między wartościami impedancji (Z) i równoległej pojemności elektrycznej (C_p) zmierzonymi przy częstotliwości 10 i 100 kHz a kwasowością tłuszczu i zawartością WKT uzasadniają celowość prowadzenia dalszych badań w tym zakresie.

Słowa kluczowe: tłuszcz mlekowy, hydroliza, właściwości elektryczne

WSTĘP

Mleko i produkty mleczarskie narażone są na różnego rodzaju zmiany powstałe w wyniku działania czynników zewnętrznych i wewnętrznych, które powodują między innymi powstawanie wad smakowo-zapachowych, zmiany w składzie chemicznym oraz obniżenie trwałości produktów. Zmiany smakowo-zapachowe, jak również zmiany składu chemicznego uwydatniają się w produktach wysokotłuszczowych poprzez enzymatyczną hydrolizę tłuszczu. Produktami tego rozkładu są między innymi wolne kwasy tłuszczowe – WKT [11, 12]. W wielu pracach naukowych [3, 13] można znaleźć również informacje, że pewna minimalna ilość WKT w produktach mleczarskich jest pożądana, ponieważ stanowią one ważny składnik mieszaniny związków nadających im specyficzny aromat. Najbardziej narażonym produktem mleczarskim na zmiany o charakterze hydrolitycznym jest masło. Istotą tych zmian – jęczenia hydrolitycznego – jest enzymatyczny rozkład triacylogliceroli, podstawowej formy występowania lipidów mleka na di- i monoacyloglicerole, a w końcowym efekcie glicerol oraz wolne kwasy tłuszczowe [5, 6].

Zainteresowanie właściwościami elektrycznymi produktów mleczarskich wynika z konieczności opracowania praktycznych metod szybkiej i bezinwazyjnej oceny ich jakości. Wyniki badań własnych i innych autorów wykazały, że

właściwości elektryczne produktów żywnościowych można wykorzystać między innymi do określania: dynamiki ukwaszania mleka [10], zawartości tłuszczu w mleku pełnym [14], stopnia rozwodnienia mleka wodą [2], stopnia demineralizacji serwatki uzyskanej w technologii sera cheddar [8] oraz określania zawartości oleju rzepakowego w miksach tłuszczowych [1].

W związku z powyższym celem badań było określenie możliwości zastosowania właściwości elektrycznych tłuszczu mlekowego do określania jego jakości związanej z głębokością zmian rozkładu hydrolytycznego.

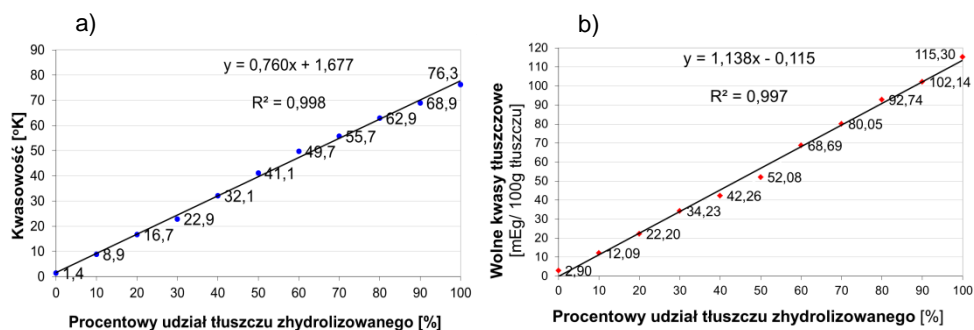
1. MATERIAŁ I METODYKA BADAŃ

Materiał doświadczalny stanowiły mieszanki tłuszczu mlekowego o niskiej kwasowości – „A” (tłuszcz świeży) oraz wysokiej kwasowości – „B” (tłuszcz zhydrolizowany). Tłuszcz mlekowy (A) pozyskano z próbek masła świeżego, zakupionego w sieci handlowej. Wyjściową próbkę tłuszczu B uzyskano natomiast w wyniku jego lipolizy z użyciem preparatu enzymatycznego Lipozyme IM firmy Novo Nordisc A/S (produkcji duńskiej). Procentowy udział tłuszczu w próbce B w ogólnej zawartości mieszaniny tłuszczowej wynosił od 0 do 100%, co 10% (11 próbek). Oznaczenia kwasowości tłuszczu wykonano metodą Krelowskiej-Kułas [7], natomiast zawartości wolnych kwasów tłuszczowych wykonano metodą ekstrakcyjno-miareczkową Dole’a w modyfikacji Deetha i współpracowników [4]. Parametry elektryczne mierzono w zbiornikach szklanych (75 x 55 x 94 mm) o pojemności ok. 200 cm³, wyposażonych w elektrody płytowe wykonane ze stali kwasoodpornej. Zbiorniki napełniano mieszaninami tłuszczowymi i umieszczano w komorze klimatyzacyjnej Memmert, w celu uzyskania temperatury 20 ± 0,1 °C. Następnie, przy użyciu miernika typu HP 4263B (Hewlett Packard, USA) oraz opracowanego we własnym zakresie schematu elektrycznego produktów żywnościowych [15] wykonywano pomiary ($n = 6$): impedancji – Z , rezystancji – R , a także równoważnej równoległej pojemności elektrycznej – C_p . Zastosowano napięcie 400 mV i częstotliwość (f) 1, 10 oraz 100 kHz. Analizę statystyczną uzyskanych wyników przeprowadzono przy użyciu programu Statistica na podstawie jednoczynnikowej analizy wariancji ANOVA oraz analizy korelacji i regresji liniowej ($y = ax + b$).

2. OMÓWIENIE I Dyskusja Wyników Badań

Wyniki pomiarów wykazały, że kwasowość tłuszczu świeżego (próbka A) wynosiła 1,4 °K (rys. 1a) i była typowa dla tłuszczu dobrej jakości, ponieważ nie przekraczała wartości przyjętych w normie [9] dla tłuszczowej fazy masła extra. Próbka ta charakteryzowała się również stosunkowo niską zawartością wolnych kwasów tłuszczowych (WKT) na poziomie 2,90 mEq/100 g tłuszczu (rys. 1b). Tłuszcz silnie zhydrolizowany (próbka B) charakteryzował się bardzo wysoką

kwasowością – 76,3 °K oraz zawartością WKT na odpowiednio wysokim poziomie 115,30 mEq/100 g tłuszczu (rys. 1). Pomimo że tak wysokich wartości tych wyróżników nie obserwuje się w praktyce przemysłowej, nawet w przypadku tłuszczu wydzielonego ze starego masła, badania podjęto w celu modelowego wyznaczenia charakteru zmian hydrolitycznych. Już 10-procentowy udział tłuszczu zhydrolizowanego w mieszance tłuszczowej spowodował znaczne zwiększenie zarówno jej kwasowości, jak i zawartości WKT – odpowiednio do wartości 8,9 °K i 12,09 mEq/100 g tłuszczu, a więc do poziomu wywołującego zdecydowane zmiany sensoryczne. Dalsze zwiększanie udziału tłuszczu zhydrolizowanego (20–90%) w stosunku do udziału tłuszczu świeżego (80–10%) powodowało dalsze proporcjonalne zmiany wartości tych wyróżników jakości tłuszczu (rys. 1). Analiza korelacji zmian kwasowości próbek tłuszczu i WKT w funkcji procentowego udziału w mieszance tłuszczu zhydrolizowanego wykazała wysokie współczynniki korelacji ($R^2 = 0,998$ i $R^2 = 0,997$, przy poziomie istotności $\alpha \leq 0,01$) równania prostej.



Rys. 1. Zmiany kwasowości (a) i wolnych kwasów tłuszczowych (b) w funkcji procentowego udziału tłuszczu zhydrolizowanego w tłuszczu mlekowym

Fig. 1. Changes in acidity (a) and content of free fatty acids (b) in the function of the percentage content of hydrolyzed fat in milk fat

Tabela 1. Wyniki analizy korelacji Z , R i C_p w funkcji procentowego udziału tłuszczu zhydrolizowanego w tłuszczu mlekowym

Table 1. Results of correlation analysis of Z , R and C_p values in the function of the percentage content of hydrolyzed fat in milk fat

Impedancja – Z			Rezystancja – R			Pojemność równoległa – C_p		
1 kHz	10 kHz	100 kHz	1 kHz	10 kHz	100 kHz	1 kHz	10 kHz	100 kHz
0,542**	0,567**	0,474**	0,595**	0,056*	0,361*	0,540**	0,585**	0,509**

** – $\alpha \leq 0,01$; * – $\alpha \leq 0,05$.

Wyniki pomiarów parametrów elektrycznych i ich analiza statystyczna wykazały, że największymi wartościami współczynnika korelacji odznaczały się Z i C_p mierzone przy $f = 10$ kHz oraz R przy $f = 1$ kHz (tab. 1).

Biorąc pod uwagę wartości zmian parametrów elektrycznych mieszanin tłuszczu o różnym stopniu zhydrolizowania, stwierdzono, że udział rezystancji (R) w impedancji (Z) jest znikomy, w związku z tym (zgodnie z równaniem $Z^2 = R^2 + (-X_c)^2$) wartość impedancji jest w przybliżeniu równa wartości reaktancji pojemnościowej ($Z \approx X_c$). Wyniki te wskazują, że mieszaniny tłuszczu mlekowego mają charakter pojemnościowy i dlatego analizę korelacji przeprowadzono tylko na wynikach pomiarów parametrów elektrycznych Z i C_p .

Wyniki obliczeń korelacji między parametrami elektrycznymi i chemicznymi wykazały, że najwyższe wartości jej współczynnika ($R^2 = 0,586$ i $R^2 = 0,562$, $\alpha \leq 0,01$) uzyskano między wartościami impedancji zmierzonej przy częstotliwości 10 kHz oraz równoważnej równoległej pojemności elektrycznej (C_p) zmierzonej przy częstotliwości 100 kHz ($R^2 = -0,677$ i $R^2 = -0,669$, $\alpha \leq 0,01$) a kwasowością próbek tłuszczu i zawartością w nich WKT (tab. 2).

Tabela 2. Wyniki analizy korelacji Z i C_p w funkcji zmian kwasowości i zawartości WKT w mieszaninach tłuszczowych

Table 2. Results of correlation analysis of Z and C_p values in the function of changes in acidity and FFAs content in fat mixtures

Parametry fizykochemiczne	Impedancja – Z			Pojemność równoległa – C_p		
	1 kHz	10 kHz	100 kHz	1 kHz	10 kHz	100 kHz
Kwasowość	0,539**	0,586**	0,408**	-0,519**	-0,549**	-0,677**
WKT	0,514**	0,562**	0,381**	-0,491**	-0,522**	-0,669**

** – $\alpha \leq 0,01$.

PODSUMOWANIE

Największe zmiany parametrów elektrycznych uzyskano w zakresie od 0 do 10% udziału tłuszczu mlekowego zhydrolizowanego (próbka B) w ogólnej objętości tłuszczu mieszanego, co odpowiada wzrostowi kwasowości do 8,9 °K oraz zawartości WKT do 19,09 mEg/100 g tłuszczu, a więc do poziomu wywołującego zdecydowane zmiany sensoryczne. Największe wartości współczynnika korelacji uzyskane między wartościami impedancji i równoważnej równoległej pojemności elektrycznej, przy częstotliwościach odpowiednio 10 i 100 kHz, a kwasowością tłuszczu i zawartością WKT wskazują na celowość prowadzenia dalszych badań nad wykorzystaniem tych parametrów do oceny jakości tłuszczu mlekowego.

LITERATURA

1. Banach J.K., Żywica R., Nieradko I., Staniewski B., *Studies on determination of mathematical relationships between rapeseed oil content and electrical properties of butter and fat mixes*, J. Food Eng., 2012, no. 112, p. 346–351.
2. Banach J.K., Żywica R., Szpendowski J., Kielczewska K., *Possibilities of using electrical parameters of milk for assessing its adulteration with water*, Int. J. Food Prop., 2012, no. 15, p. 274–280.
3. Deeth C.H., *Lipoprotein lipase and lipolysis in milk*, Int. Dairy J., 2006, no. 16, p. 555–556.
4. Deeth H.C., Fitz-Gerald C.H., Wood A.F., *A convenient method determining the extend of lipolysis in milk*, Austral. Dairy Technol., 1975, no. 30(3), p. 109–113.
5. Fox P.F., McSweeney P.L.H., *Advanced Dairy Chemistry*, vol. 2, *Lipids*, Springer Science, Business Media, Inc. 2006.
6. Jurczak M.E., *Mleko, produkcja, badanie, przerób*, SGGW, Warszawa 2003.
7. Krelowska-Kułas M., *Badanie jakości produktów spożywczych*, PWE, Warszawa 1993.
8. Lin Teng Shee F. Bazinet P.A., *Relationship between electrical conductivity and demineralization rate during electro acidification of cheddar cheese whey*, J. Membrane Sci., 2005, no. 265, p. 100–106.
9. Paquet J., Lacroix C., Audet P., Thibault J., *Electrical conductivity as tool for analysing fermentation processes for production of cheese starters*, Int. Dairy J., 2000, no. 10, p. 391–399.
10. PN-A-86155:1995. *Mleko i przetwory mleczarskie. Maśło*.
11. Roginski H., Fuquay J.W., Fox P.F., *Encyclopedia of dairy science*, Acad. Press, London 2003.
12. Staniewski B., *Lipoliza w procesie produkcji maśła*, Przemysł Spożywczy, 2000, nr 7, s. 34–40.
13. Staniewski B., Kiszka J., Juśkiewicz M., *Wpływ wolnych kwasów tłuszczowych (WKT) na cechy smakowo-zapachowe maśła świeżego i przechowywanego*, Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczo-Technicznej w Olsztynie, 1993, s. 13–21.
14. Żywica R., Banach J.K., Kielczewska K., *An attempt of applying the electrical properties for the evaluation of milk fat content of raw milk*, J. Food Eng., 2012, no. 111, p. 420–424.
15. Żywica R., Pierzynowska-Korniak G., Wójcik J., *Application of food products electrical model parameters for evaluation of apple purée dilution*, J. Food Eng., 2005, no. 67, p. 413–418.

APPLICABILITY OF ELECTRICAL PROPERTIES IN DETERMINATION OF THE EXTENT OF HYDROLYTIC CHANGES IN MILK FAT

Summary

The objective of this study was to determine the feasibility of electrical properties of milk fat for determination of its quality based on hydrolytic changes. Study results demonstrated that the greatest changes of electrical parameters were achieved at 0 to 10% of hydrolyzed milk fat content in the total fat content, which corresponds to acidity increase to 8.9 K and free fatty acids (FFAs) content increase to the level inducing significant sensory changes (19.09 mEq/100 g fat). The greatest dependencies expressed by the values of correlation coefficients and achieved between values of impedance (Z) and parallel electrical capacitance (C_p) measured at frequencies of 10 and 100 kHz and fat acidity and FFAs content indicate the advisability of continuing research in this respect.

Keywords: milk fat, hydrolysis, electrical properties