

Dominik Kmiecik, Józef Korczak, Magdalena Rudzińska*, Henryk Jeleń*

Akademia Rolnicza im. A. Cieszkowskiego w Poznaniu

Katedra Technologii Żywności Człowieka, * Instytut Technologii Żywności Pochodzenia Roślinnego

Wpływ procesu smażenia na zawartość steroli i zmiany jakości częściowo uwodornionego oleju rzepakowego*

Effect of frying on the content of sterols and changes of quality of partially hydrogenated rapeseed oil

Słowa kluczowe: smażenie, fitosterole, olej rzepakowy, frytki, kotlety sojowe

Celem badań było porównanie zmian zawartości fitosteroli oraz stabilności oleju rzepakowego częściowo uwodornionego w czasie smażenia frytek i kotletów sojowych. Kotlety sojowe i frytki były smażone w 20-minutowych cyklach w temperaturze 180°C przez 8 h dziennie, przez 6 kolejnych dni. Oznaczenia prowadzono w oleju nieogrzewanym oraz po 8, 16, 24, 32, 40 i 48 h smażenia. Pomiędzy kolejnymi dniami smażenia oleje były chłodzone i przechowywane w temperaturze 5°C.

W badanych próbach oznaczono: zawartość fitosteroli, liczbę kwasową, liczbę anizydynową, liczbę nadtlenną, liczbę jodową, zawartość związków polarnych, punkt dymienia oraz jakość tłuszczów za pomocą Lipid Testu. Olej, który został użyty do smażenia charakteryzował się niską liczbą nadtlenną, kwasową, anizydynową, wysoką temperaturą punktu dymienia oraz obniżoną liczbą jodową.

W czasie 48 h smażenia produktów obserwowano około 16-krotny wzrost liczby kwasowej, spadek temperatury punktu dymienia o 50–55°C oraz spadek liczby jodowej o 10%. Dla liczby anizydynowej obserwowano gwałtowny wzrost w ciągu pierwszych 8 h smażenia, dalszy niewielki jej wzrost i spadek na koniec procesu. Ocena przydatności oleju do dalszego smażenia przy pomocy Lipid Testu nie wykazała zmian w jego jakości.

Zawartość fitosteroli w oleju nieogrzewanym wynosiła 5,6–5,9 mg/g oleju. W czasie 48 h obserwowano 19% spadek ich zawartości w przypadku smażenia frytek i 16% spadek w przypadku smażenia kotletów sojowych. W czasie smażenia kotletów sojowych i frytek nastąpiło znaczne pogorszenie jakości wykorzystywanego oleju. Zmiany te były podobne podczas smażenia frytek i kotletów sojowych.

Key words: frying process, phytosterols, rapeseed oil, potato chips, soya chops

The aim of the study was to compare changes in content of phytosterols and stability of partially hydrogenated rapeseed oil during frying of potato chips and soya chops.

Potato chips and soya chops were fried in 20 minute cycles in 180°C during 8 h/d for successive 6 days. Quality indexes were estimated periodically in non-heated oil and after 8, 16, 24, 32, 40 and 48 h of frying. Oil was kept in refrigerator between successive days of frying.

* Praca została wykonana w ramach projektu KBN nr PZB-KBN-094/P06/2003

The content of phytosterols, acid value, anisidine value, peroxide value, iodine value, polar content, smoke point and Lipid Test in samples were estimated.

Partially hydrogenated oil was characterized by low peroxide value (0.58), acid value (0.11), anisidine value (0.9), high temperature of smoked point (248°C) and lowered iodine value (88).

During 48 h of frying acid value increased almost 16 times, the smoke point declined by about 50–55°C and iodine value declined by about 10%. The biggest increase of anisidine value was observed during the first 8 h (from 0.9 to 50), then smaller increase and finally decline at the end of the frying period. Changes of quality in lipid Test were not observed during the research.

The content of phytosterols in non-heated oil was 5.6–5.9 mg/g oil. 19% decline was observed during frying of potato chips and 16% during frying of soya chops.

During 48 h frying of potato chips and of soya chops the biggest decline in the quality of oil was observed. Changes were similar during the frying of potato chips and soya chops.

Wstęp

Specyficzny smak, aromat, kruchość i soczystość potraw smażonych, a także szybkość ich przygotowania powodują, że potrawy te cieszą się ogromną popularnością wśród konsumentów. Te pożądane cechy sensoryczne powstają w wyniku reakcji Maillarda, czyli reakcji grup karbonylowych pochodzących najczęściej od węglowodanów z grupami aminowymi pochodzącymi z aminokwasów, peptydów czy też białek. Efektem tych procesów jest wytworzenie szeregu związków, które nadają żywności charakterystyczną brązową barwę oraz specyficzny smak i aromat (Korczak 1998).

Wysoka temperatura procesu (170–180°C), która m.in. warunkuje szybkość reakcji Maillarda oraz skraca czas przygotowania potraw smażonych, odgrywa także znaczącą rolę w szybkości niepożądanych przemian, jakim ulega tłuszcz wykorzystywany w procesie. Długotrwałe oddziaływanie na tłuszcz wysokiej temperatury, tlenu, wody oraz składników, które przenikają ze smażonych surowców, prowadzi do powstania szeregu produktów rozpadu tłuszczów o różnorodnej budowie chemicznej. Związki te powstają w wyniku utleniania kwasów tłuszczowych, ich hydrolizy oraz przemian termicznych (polimeryzacja, cyklizacja, izomerizacja) (Korczak 1997). Część związków powstających w wyniku degradacji tłuszczów, w szczególności pod wpływem temperatury i tlenu z powietrza ma niekorzystny wpływ na organizm człowieka. Związki te mają charakter mutagenny oraz kancerogenny, wywołują zaburzenia przewodzenia pokarmowego, niszczą lub stają się inhibitorami witamin (Clark i Serbia 1991, Saguy i Dana 2003). Szczególnie niebezpieczne dla człowieka może być ich kumulacja w medium grzejnym na skutek jego długotrwałego ogrzewania oraz przenikania zanieczyszczonego tłuszczu do produkowanych potraw w czasie smażenia.

W celu przeciwdziałania niekorzystnym zmianom zachodzącym pod wpływem tych czynników i wydłużenia jego żywotności w smażalniku zwraca się uwagę na dobór optymalnych parametrów procesu smażenia, zastosowanie odpowiednich

rodzajów tłuszczów oraz wykorzystanie dobrze skonstruowanych urządzeń smaźalniczych (Biller 2000, Korczak 1989).

Ponieważ wielkość zmian zachodzących w tłuszczu jest wynikiem nie tylko warunków smażenia, lecz zależy także od rodzaju smażonego produktu (białkowy, węglowodanowy), czasu i sposobu smażenia (ciągły, okresowy) oraz użytego tłuszczu, dlatego bardzo ważne jest monitorowanie jakości tłuszczu podczas całego procesu smażenia oraz jego wymiana w odpowiednim czasie (Biller i Neryng 1999, Jaswir i in. 2000, Tynek i in. 2001, Gil i in. 2004, Innawong 2004). Do najprostszych metod oceny jakości użytkowanej frytury należy ocena cech organoleptycznych zarówno tłuszczu jak i usmażonego produktu (zapach, barwa, dymienie tłuszczu). Jednak należy zwrócić uwagę, że są to metody subiektywne i często nieskorelowane z wynikami otrzymanymi na drodze analizy chemicznej (Paul i Mittal 1996, Hoffmann 2004). Szczegółowa analiza chemiczna, która umożliwia m.in. określenie zawartości wolnych kwasów tłuszczowych, związków polarnych, składu kwasów tłuszczowych czy też zawartości izomerów trans, często jest skomplikowana oraz kosztowna i wymaga specjalistycznego zaplecza laboratoryjnego. Dlatego wykorzystanie analiz chemicznych w celu określenia jakości tłuszczu często ma miejsce jedynie w dużych zakładach produkcyjnych i jest niedostępne dla większości zakładów gastronomicznych. Dobrym rozwiązaniem dla tego typu zakładów mogą stać się szybkie testy zarówno barwne (Fritest, Oxifrit-test, Lipid-test), jak i instrumentalne (3M PCT 120, Fri-Check, Food Oil Sensor), które w krótkim czasie umożliwiają sprawdzenie jakości wykorzystywanego tłuszczu i podjęcie właściwej decyzji o jego wymianie (Kmieciak 2006).

Celem pracy było porównanie zmian zawartości fitosteroli oraz stabilności oleju rzepakowego częściowo uwodornionego w czasie smażenia frytek i kotletów sojowych.

Material i metody

Materiałem badawczym był olej rzepakowy częściowo uwodorniony — frytura w płynie otrzymana od producenta, na której smażono dwa produkty:

- węglowodanowy — frytki otrzymane z ziemniaków odmiany Drop, przygotowywane na bieżąco (przed smażeniem) poprzez rozdrobnienie w słupki o boku 1 cm,
- białkowy — ekstrudowane kotlety sojowe zakupione u producenta.

Oznaczenia zawartości fitosteroli oraz jakości oleju zostały wykonane w próbach otrzymanych w czasie 48 godzin smażenia trzech partii frytek i kotletów sojowych. Stugramowe porcje frytek i kotletów sojowych, były smażone w 20-minutowych cyklach przez 8 godzin dziennie, przez 6 kolejnych dni w temperaturze $180 \pm 5^\circ\text{C}$. Kotlety sojowe i frytki były smażone odpowiednio przez 4 i 6 minut, a następnie

do końca cyklu (odpowiednio 16 i 14 minut) olej był utrzymywany w temperaturze $180 \pm 5^\circ\text{C}$. Pomędzy kolejnymi dniami smażenia oleje były filtrowane, chłodzone i przechowywane w temperaturze 5°C .

Analiza chemiczna została wykonana dla oleju nieogrzewanego oraz po 8, 16, 24, 32, 40 i 48 godzinach procesu. W analizowanych próbkach oznaczono: liczbę nadtlenkową (wg PN-ISO 3960), liczbę kwasową (wg PN-ISO 660), liczbę anizydynową (wg PN-A 86926), liczbę jodową (wg PN-ISO 3961), zawartość związków polarnych (wg PN-EN ISO 8420) i punkt dymienia. Przydatność tłuszczu do dalszego smażenia określono za pomocą Lipid Testu, który jest szybkim testem barwnym, opartym na reakcji barwnej produktów utleniania tłuszczu z błękitem bromotymolowym (Janitz i Korczak 1995). Zawartość fitosteroli została oznaczona w oleju nieogrzewanym oraz po 24 i 48 godzinach smażenia z wykorzystaniem metody opisanej przez Rudzińską i in. (2001). Metoda ta polegała na zmydłaniu próby oleju, ekstrakcji frakcji niezmydlającej, a następnie sililacji. Analizę chromatograficzną wykonano na aparacie firmy Hewlett-Packard 5890 II stosując kolumnę kapilarną DB-5. Analizę przeprowadzono w stałej temperaturze pieca 290°C . Identyfikację analizowanych związków wykonano na podstawie porównania ich czasów retencji ze standardami.

Uzyskane wyniki poddano analizie statystycznej w programie Statistica 6.1.

Wyniki i dyskusja

Zawartość związków polarnych, do których zaliczamy substancje polarne występujące w tłuszczach świeżych (monoacyloglicerole, diacyloglicerole i wolne kwasy tłuszczowe) oraz polarne produkty przemian zachodzących w czasie smażenia żywności, wg regulacji niektórych państw nie powinny przekraczać 25–27% zawartości (Paul i Mittal 1996).

Dla badanych olejów maksymalne wartości z tego przedziału zostały przekroczone już po 24 godzinach procesu (tab. 1) i wynosiły odpowiednio 30,81% dla oleju, w którym smażyły frytki i 28,21% dla oleju, w którym smażyły kotlety sojowe. Zarówno w pierwszym, jak i drugim przypadku obserwowano największy wzrost zawartości frakcji polarnej w czasie pierwszych 8 godzin smażenia, który wynosił około 12%. Dalsze godziny ogrzewania przynosiły stały wzrost tych związków o około 3–7% na każdy 8-godzinny etap smażenia, osiągając na końcu procesu wartości odpowiednio 41 i 37%.

Wzrost zawartości związków polarnych jest spowodowany degradacyjnymi przemianami cząsteczek triacylogliceroli oraz kwasów tłuszczowych, jakie zachodzą w czasie smażenia (hydroliza, utlenianie). Część tych przemian jest widoczna w zmianach liczby kwasowej, anizydynowej oraz punktu dymienia. Mimo iż liczba kwasowa nie przekroczyła górnej granicy swojej wartości (2,5), to obserwowano

Tabela 1

Wskaźniki jakości tłuszczu — *Indexes of fat quality*

Czas smażenia <i>Time of frying</i> [h]	Wskaźnik — <i>Index</i>											
	liczba anizydynowa <i>anisidine value</i>		liczba kwasowa <i>acid value</i> [mg KOH/g oleju]		liczba jodowa <i>iodine value</i> [mg I/100 g of oil]		zawartość związków polarnych <i>polar compound</i> content [%]		punkt dymienia <i>smoke point</i> [°C]		liczba nadlenkowa [mEq O ₂ /kg oleju] <i>peroxide value</i> [mEq O ₂ /kg of oil]	
	F*	KS*	F	KS	F	KS	F	KS	F	KS	F	KS
Olej nieogrzewany <i>Non-heated oil</i>	0,96 ± 0,17 a	0,84 ± 0,09 a	0,11 ± 0,00 a	0,11 ± 0,00 a	89 ± 3,16 a	88 ± 1,05 a	8,84 ± 0,66 a	8,84 ± 0,66 a	248 ± 5,24 a	247 ± 2,83 a	0,62 ± 0,11	0,54 ± 0,06
8	49,17 ± 2,49 b	48,07 ± 1,41 b	0,38 ± 0,01 b	0,40 ± 0,03 b	85 ± 1,60 b	85 ± 1,52 b	20,02 ± 2,06 b	20,77 ± 1,25 b	236 ± 1,86 b	238 ± 2,88 b	—	—
16	54,99 ± 3,25 bc	52,50 ± 1,53 bc	0,69 ± 0,03 c	0,74 ± 0,03 c	83 ± 2,04 bc	84 ± 1,64 bc	23,67 ± 0,67 b	24,96 ± 1,13 c	229 ± 2,50 c	226 ± 4,37 c	—	—
24	62,16 ± 9,95 cd	59,33 ± 6,35 c	1,02 ± 0,05 d	1,00 ± 0,11 d	82 ± 0,55 cd	82 ± 1,87bcd	30,81 ± 2,02 c	28,21 ± 1,86 cd	224 ± 4,67 cd	216 ± 3,10 d	—	—
32	63,55 ± 8,20 d	56,92 ± 3,79 cd	1,27 ± 0,06 e	1,21 ± 0,10 e	79 ± 1,26 d	80 ± 2,14 cd	33,83 ± 4,27 c	31,86 ± 1,47 de	220 ± 3,16 d	209 ± 1,87 de	—	—
40	55,43 ± 8,65 bd	54,71 ± 3,27 bc	1,55 ± 0,07 f	1,30 ± 0,10 e	78 ± 1,17 d	80 ± 1,51 d	38,73 ± 2,08 d	34,37 ± 1,09 ef	209 ± 5,71 e	201 ± 4,23 e	—	—
48	50,82 ± 3,55 b	48,86 ± 3,71bd	1,62 ± 0,12 f	1,45 ± 0,14 f	78 ± 1,63 d	79 ± 1,97 d	41,22 ± 2,60 d	37,15 ± 1,33 f	197 ± 4,46 f	191 ± 4,03 f	—	—

* F — frytki — *potato chips*,KS — kotlety sojowe — *soya chops*Wartości oznakowane różnymi literami w tej samej kolumnie różnią się statystycznie przy $p < 0,05$ *Data marked by different letters in the same column are statistically different at $p < 0,05$*

stały jej wzrost, który był większy w przypadku smażenia frytek niż kotletów sojowych. Większe zmiany jakości oleju, w którym smażyły frytki, obserwowano również dla liczby anizydynowej. Jej wartość, w obu badanych olejach, gwałtownie rosła w czasie pierwszych 8 godzin smażenia, osiągając około 50-krotnie wyższe wartości niż w oleju świeżym. Charakterystyczny dla liczby anizydynowej był także niewielki spadek jej wartości w końcowych godzinach smażenia, który mógł być spowodowany zmniejszeniem nasilenia procesów hydrolyzy triacylogliceroli i gliceroli częściowych do wolnych kwasów tłuszczowych.

Wśród wyróżników fizycznych, jakie można wykorzystywać w celu analizy jakości tłuszczów do smażenia jest ich punkt dymienia, który określa temperaturę, w jakiej z ogrzewanego tłuszczu zaczyna się wydobywać dym (Heś 2004). Jego wartość poniżej 170°C lub spadek w czasie całego procesu o 50°C powinien być sygnałem do wymiany tłuszczu na nowy. Wybrana do doświadczenia frytura charakteryzowała się wysoką temperaturą punktu dymienia — 248°C. Oddziaływanie na olej wysokiej temperatury, tlenu oraz smażonego produktu powodowało stopniowy jej spadek i obniżenie w końcowym efekcie o 50°C dla frytek i 55°C dla kotletów sojowych. Pomimo iż spadek punktu dymienia o 50°C wymuszał konieczność wymiany tłuszczu, należy zaznaczyć, że nie przekroczył on granicznej wartości 170°C. Wyniki analizy jakości oleju w czasie smażenia frytek i kotletów sojowych zostały przedstawione w tabeli 1.

Wyniki otrzymane przy pomocy Lipid Testu nie potwierdziły wielkości zmian, jakie obserwowano w oleju w czasie smażenia za pomocą analiz chemiczno-fizycznych. Po 48-godzinnym procesie zarówno olej używany przy smażeniu frytek, jak i kotletów sojowych wykazywał tylko nieznaczne zmiany jakości i nie wymagał wymiany na nowy. Sytuacja ta może wynikać z wykorzystania do badań odpowiednio zmodyfikowanego tłuszczu, którego stopień nienasycenia został obniżony w procesie jego częściowego uwodornienia. Wyniki Lipid Testu zostały przedstawione w tabeli 2.

Tabela 2

Jakość oleju określona za pomocą Lipid Testu — *Quality of oil by Lipid Test*

	Czas smażenia — <i>Time of heating</i> [h]						
	nieogrzewany <i>non-heated</i>	8	16	24	32	40	48
Frytki <i>Potato chips</i>	+++	+++	+++	++	++	++	++
Kotlety sojowe <i>Soya chops</i>	+++	+++	++	++	++	++	++

+++ — Olej świeży — *Fresh oil*

++ — Olej ogrzewany — *Heated oil*

Zawartość fitosteroli w wykorzystanej fryturze wynosiła 5,5–5,9 mg/g oleju, a główną jej frakcję stanowiły β -sitosterol (48,2%) oraz kampesterol (34,5%), natomiast w mniejszych ilościach występował brasikasterol (13%), awenasterol (3%) i stigmasterol (1,3%). Długotrwały proces smażenia przyczynił się do obniżenia zarówno sumy wszystkich fitosteroli, jak i zawartości każdego z nich, jednakże zmiany te były nie równomierne i zależały od ilości poszczególnych związków. Największy spadek sumy fitosteroli zarówno w przypadku smażenia frytek, jak i kotletów sojowych obserwowano po pierwszych 24 godzinach procesu i wynosił on 13% w obu przypadkach. Kolejne 24 godziny smażenia powodowały dalszy, lecz nie tak drastyczny spadek ich zawartości, który był wyższy dla oleju używanego do smażenia frytek niż kotletów sojowych. Olej po 48-godzinnym okresie smażenia frytek charakteryzował się zawartością fitosteroli na poziomie 4,54 mg/g oleju (spadek od wartości wyjściowej o 19%), natomiast w przypadku kotletów sojowych zawartość tych związków w oleju wynosiła 4,94 mg/g oleju (spadek o 16%). Podobna tendencja, czyli znacznie większy spadek ich zawartości w czasie pierwszych 24 godzin i mniejszy w kolejnych godzinach smażenia był obserwowany w przypadku większości analizowanych fitosteroli. Sterole, które występowały w największych ilościach (β -sitosterol oraz kampesterol), ulegały jednak przemianom w mniejszym stopniu niż te, których zawartość była niska, co może być tłumaczone obecnością w ich cząsteczce tylko 1 wiązania nienasyconego i większą odpornością na procesy utleniania. Fitosterolem, którego wartość uległa obniżeniu w największym stopniu był stigmasterol, którego straty w czasie całego procesu wynosiły od 40% (dla oleju po smażeniu kotletów sojowych) do 61% (dla oleju po smażeniu frytek). Wyniki analizy zmian zawartości fitosteroli w procesie smażenia przedstawiono w tabeli 3.

Dane uzyskane z literatury przedstawiające doświadczenia, w których określono zmiany zawartości fitosteroli w czasie smażenia produktów lub w czasie ogrzewania izolowanych fitosteroli wskazują, że wielkość tych zmian jest zależna od czynników takich, jak temperatura i czas prowadzenia procesu, rodzaj wykorzystywanego tłuszczu czy rodzaj smażonego produktu (Małecka 1996, Rudzińska i in. 2005).

Tabela 3

Zmiany zawartości fitosteroli w oleju w czasie smażenia — *Changes of phyosterols content in oil during frying*

Czas smażenia <i>Time of frying</i> [h]	Zawartość fitosteroli [mg/g oleju] — <i>Phyosterols content [mg/g of oil]</i>											
	braskasterol <i>brassicasterol</i>		kampesterol <i>campesterol</i>		stigmasterol <i>stigmasterol</i>		sitossterol <i>sitosterol</i>		awenasterol <i>avenasterol</i>		całkowita zawartość steroli <i>total sterols</i>	
	F*	KS*	F	KS	F	KS	F	KS	F	KS	F	KS
Olej nieogrzewany <i>Non-heated oil</i>	0,77 ± 0,12 a	0,79 ± 0,06 a	1,91 ± 0,23 a	2,04 ± 0,10 a	0,08 ± 0,01 a	0,07 ± 0,01 a	2,70 ± 0,34 a	2,81 ± 0,22 a	0,17 ± 0,03 a	0,18 ± 0,02 a	5,57 ± 0,65 a	5,88 ± 0,33 a
24	0,59 ± 0,05 b	0,62 ± 0,05 b	1,65 ± 0,17 b	1,78 ± 0,10 b	0,06 ± 0,02 b	0,06 ± 0,01 a	2,38 ± 0,20 b	2,48 ± 0,12 b	0,14 ± 0,02 ab	0,15 ± 0,01 b	4,83 ± 0,43 b	5,09 ± 0,25 b
48	0,58 ± 0,02 b	0,60 ± 0,03 b	1,58 ± 0,10 b	0,76 ± 0,10 b	0,03 ± 0,01 c	0,04 ± 0,01 b	2,22 ± 0,05 b	2,40 ± 0,09 b	0,12 ± 0,02 b	0,15 ± 0,02 b	4,54 ± 0,15 b	4,94 ± 0,15 b

* F – frytki — *potato chips*,KS – kotlety sojowe — *soya chops*Wartości oznakowane różnymi literami w tej samej kolumnie różnią się statystycznie przy $p < 0,05$
Data marked by different letters in the same column are statistically different at $p < 0,05$

Wnioski

1. W czasie całego 48-godzinnego procesu smażenia nastąpiło znaczne pogorszenie jakości wykorzystywanego oleju. Zawartość związków polarnych wskazywała na konieczność wymiany tłuszczu już po 24 godzinach smażenia osiągając wartość 31% dla oleju, w którym smażone były frytki oraz 28% dla oleju, w którym smażono kotlety sojowe. Inne analizowane wyróżniki oleju (punkt dymienia, liczba kwasowa) wskazywały na konieczność jego wymiany dopiero po zakończeniu całego procesu. Obserwowane zmiany jakości oleju były nieznacznie mniejsze podczas smażenia frytek niż kotletów sojowych.
2. Ocena przydatności oleju do dalszego smażenia przy pomocy Lipid Testu nie potwierdziła otrzymanych wyników analizy chemicznej. Po zakończeniu obróbki termicznej zarówno olej używany do smażenia frytek, jak i kotletów sojowych wykazywał jedynie nieznaczne pogorszenie jakości i nie wymagał wymiany. Może to wynikać z faktu, że w przeprowadzonych badaniach wykorzystano fryturę na bazie olejów uwodornionych, o zmniejszonej podatności na zmiany oksydacyjne.
3. Zawartość fitosteroli w fryturze wahała się na poziomie 5,6–5,9 mg/g oleju, z czego około 82% stanowiła suma β -sitosterolu oraz kampesterolu. W czasie smażenia obserwowano spadek zawartości fitosteroli o 16% w oleju używanym do smażenia kotletów sojowych i 19% w oleju używanym do smażenia frytek. Największy spadek zawartości większości fitosteroli oraz ich sumy obserwowano w ciągu pierwszych 24 godzin procesu, dalsze smażenie obniżało ich poziom w znacznie mniejszym stopniu.
4. Zawartość brasikasterolu, awenasterolu i stigmasterolu, które występowały w mniejszych ilościach w wykorzystywanej fryturze szybciej ulegała zmniejszeniu niż miało to miejsce w przypadku β -sitosterolu czy kampesterolu.

Literatura

- Billar E., Neryng A. 1999. Porównanie przydatności oleju rzepakowego i tłuszczu utwardzonego do smażenia pączków na podstawie zmian chemicznych zastosowanych frytur. *Tłuszcze Jadalne*, 3-4: 9-91.
- Billar E. 2000. Niezdrowe ale smaczne. *Przegląd Gastronomiczny*, 9: 16-17.
- Gil B., Yong Cho Y., Hoo Yoon S. 2004. Rapid determination of polar compounds in frying fats and oils using image analysis. *Lebensm. Wiss. u. Technol.*, 37: 657-661.
- Clark W.L., Serbia G.W. 1991. Safety aspects of frying fats and oils. *Food Technol.*, 45: 84-94.

- Heś M. 2004. Ocena towaroznawcza wybranych tłuszczów roślinnych i zwierzęcych, w *Towaroznawstwo wybranych produktów spożywczych*. AR im. A. Cieszkowskiego w Poznaniu, s. 103.
- Hoffman M. 2004. Frytura pod kontrolą. *Przegląd gastronomiczny*, 12: 11-12.
- Innawong B., Mallikarjunan P., Irudayaraj J., Marcy J.E. 2004. The determination of frying oil quality Fourier transform infrared attenuated total reflectance. *Lebensm. Wiss. u. Technol.*, 37: 23-28.
- Janitz W., Korczak J. 1995. Zmiany jakościowe tłuszczu smaźalniczego w produkcji pieczywa cukierniczego. *Przegląd Piekarski i Cukierniczy*, 3: 14-15.
- Jaswir I., Che Man Y.B., Kitts D.D. 2000. Use of natural antioxidants in refined palm olein during repeated deep-fat frying. *Food Research International*, 33: 501-508.
- Kmiecik D. 2006. Zmiany wskaźników przemian fizyko-chemicznych oleju rzepakowego w czasie ogrzewania. *Aparatura badawcza i dydaktyczna*, 2: 100-106.
- Korczak J. 1989. Ocena zmian jakości tłuszczów zachodzących podczas procesu smażenia potraw. W: *Technologia przemysłowej produkcji potraw*. Praca zbiorowa. WNT Warszawa: 160-177.
- Korczak J. 1997. Zastosowanie tłuszczów w technologii potraw. W: *Prawda o tłuszczach*. Praca zbiorowa. AR im. A. Cieszkowskiego w Poznaniu: 49-56.
- Korczak J. 1998. Przemiany węglowodanów w procesach produkcji potraw. W: *Współczesna wiedza o węglowodanach*. Praca zbiorowa. AR im. A. Cieszkowskiego w Poznaniu: 80-94.
- Małecka M. 1996. Wpływ ogrzewania na zawartość steroli i kwasów tłuszczowych w układzie modelowym. *Tłuszcze Jadalne*, 1-2: 20-24.
- Paul S., Mittal G.S. 1996. Dynamics of fat/oil degradation during frying based on optical properties. *Journal of Food Engineering*, 30: 389-403.
- Rudzińska M., Kazuś T., Wąsowicz E. 2001. Sterole i ich utlenione pochodne w olejach roślinnych rafinowanych i tłoczonych na zimno. *Roślinny Oleiste – Oilseed Crops*, XXII (2): 477-494.
- Rudzińska M., Korczak J., Wąsowicz E. 2005. Changes in phytosterols and their products during frying of french fries in rapeseed oil. *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, 55: 381-387.
- Saguy S.I., Dana D. 2003. Integrated approach to deep fat frying: engineering, nutrition, health and consumer aspects. *Journal of Food Engineering*, 56: 143-152.
- Tynek M., Hazuga Z., Pawłowicz R., Dudek M. 2001. Changes in the frying medium during deep-frying of food rich in proteins and carbohydrates. *Journal of Food Lipids*, 8: 251-261.
- PN-ISO 660:1998. Oleje i tłuszcze roślinne oraz zwierzęce. Oznaczenie liczby kwasowej i kwasowości.
- PN-ISO 3960:1993. Oleje i tłuszcze roślinne oraz zwierzęce. Oznaczenie liczby nadtlencowej.
- PN-EN ISO 6885:2001. Oleje i tłuszcze roślinne oraz zwierzęce. Oznaczenie liczby anizydynowej.
- PN-EN ISO 8420:1999. Oleje i tłuszcze roślinne oraz zwierzęce. Oznaczenie zawartości związków polarnych.
- PN-ISO 3961:1998. Oleje i tłuszcze roślinne oraz zwierzęce. Oznaczenie liczby jodowej.