

Dr inż. Joanna BRYŚ
Dr inż. Magdalena WIRKOWSKA-WOJDYŁA
Dr Agata GÓRSKA
Dr hab. Ewa OSTROWSKA-LIGEŻA
Mgr inż. Milena BIARDZKA
Mgr inż. Hanna CIEMNIEWSKA-ŻYTKIEWICZ
Dr inż. Andrzej BRYŚ
Katedra Chemii, Wydział Nauk o Żywności, SGGW w Warszawie

OLEJE BOGATE W KWASY OMEGA-3 JAKO POTENCJALNE ŹRÓDŁO KWASÓW NIENASYCONYCH W DIECIE DLA NIEMOWLĄT I MAŁYCH DZIECI®

Oils rich in Omega-3 fatty acids as a potential source of polyunsaturated fatty acids in the diet for infants and young children®

Słowa kluczowe: olej lniany, olej z lnianki, olej z pszczeni-
ka mołdawskiego, tłuszcz mleka kobiecego.

*Analizie poddano następujące oleje roślinne bogate w poli-
lenowe kwasy tłuszczowe pochodzące z rodziny omega-3:
lniany, olej z lnianki siewnej oraz olej z pszczeni-
ka mołdawskiego. W olejach oznaczono zawartość frakcji polarnej
oraz skład kwasów tłuszczowych i ich rozmieszczenie pomię-
dzy pozycje zewnętrzne i wewnętrzną triacylogliceroli (TAG).
W pracy podjęto również próbę oceny ich przydatności pod
kątem możliwości zastosowania w diecie dla niemowląt
i małych dzieci. W tym celu porównano wybrane właściwo-
ści badanych olejów roślinnych z tłuszczem mleka kobiecego.*

Key words: linseed oil, camelina seed oil, dracocephalum
moldavicum oil, human milk fat.

*The following vegetable oils rich in polyene fatty acids de-
rived from the omega-3 family have been analyzed: linseed
oil, camelina seed oil and dracocephalum moldavicum oil.
The contents of polar fraction, the composition of fatty acids
and their distribution between the external and internal posi-
tions of triacylglycerols (TAG) in the oils were investigated.
Also attempt to assess their suitability for the possibility of
their use in the diet for infants and young children has been
undertaken. For this purpose selected properties of the tested
vegetable oils and human milk fat were compared.*

WPROWADZENIE

Tłuszcze odgrywają bardzo ważną rolę w organizmie człowieka. Zarówno ich niedobór, jak i nadmiar w pożywieniu, powodują negatywne skutki. Odpowiednio zbilansowana dieta, bogata w tłuszcze zawierające wielonienasycone kwasy tłuszczowe (PUFA), może w znacznym stopniu przyczynić się do ograniczenia występowania i rozwoju wielu chorób. Niektóre spośród PUFA, tzw. NNKT (niezbędne nienasycone kwasy tłuszczowe), są konieczne do prawidłowego rozwoju i normalnego funkcjonowania organizmu [11]. Kwasy tłuszczowe mające właściwości NNKT należą do dwóch rodzin kwasów: omega-3 i omega-6. Z uwagi na fakt, że organizm ludzki nie posiada odpowiednich układów enzymatycznych, które wprowadzają wiązania podwójne w pozycje n-3 i n-6 łańcucha węglowego, kwasy te muszą być dostarczane z pożywieniem [38]. Głównym przedstawicielem kwasów z rodziny omega-3 jest kwas α -linolenowy (ALA), natomiast kwasów z rodziny omega-6-kwas lino-
lowy (LA) [35]. ALA oraz LA ulegają przemianom zachodzącym w retikulum endoplazmatycznym komórek. W wyniku przemian enzymatycznych dochodzi do elongacji

łańcuchów węglowych, co prowadzi do powstania m.in. kwasów eikozapentaenowego (EPA, C22:5), dokozaheksa-
enowego (DHA, C22:6) oraz arachidonowego (AA, C20:4). W reakcjach tych ALA i LA rywalizują ze sobą o te same grupy enzymów, na skutek czego, przy zbyt dużym spożyciu kwasów z rodziny n-6, częściowo zahamowana zostaje synteza EPA i DHA, co jest oczywiście zjawiskiem negatywnym [31]. Bardzo istotne jest zatem zachowanie odpowiedniej proporcji pomiędzy kwasami należącymi do omega-6 i omega-3, a także właściwa podaż w diecie kwasów z rodziny omega-3. Dostępne na rynku produkty tłuszczowe zawierają niewielkie ilości PUFA, a zwłaszcza kwasów z rodziny n-3. Bogatym źródłem tych kwasów są niektóre oleje roślinne np. lniany, lniankowy, olej z pszczeni-
ka mołdawskiego.

Len zwyczajny (*Linum Usitatissimum*) oraz len złocisty (*Linum Flavum*) są roślinami olejodajnymi i włóknodajnymi, należącymi do rodziny lnowatych (*Linaceae*). Rodzina ta liczy łącznie około 200 gatunków, wśród których większość są to gatunki dzikie oraz uprawiane jako rośliny ozdobne, natomiast zaledwie kilka z nich to gatunki włókniste i uprawne [16].

Nasiona lnu zawierają 36 – 40% oleju, 24 – 45% białka oraz 10% surowego włókna (rozpuszczalnego w wodzie). Ponadto w ich skład wchodzi również niewielkie ilości steroli, tokoferoli oraz związków fenolowych [12, 21]. Według badań przeprowadzonych przez Piłat i Zadernowskiego [23] olej lniany tłoczony na zimno składa się w ok. 97% z triacylogliceroli (TAG); natomiast wolne kwasy tłuszczowe, mono- i diacyloglicerole stanowią ok. 1,5%. Zawartość pozostałych składników – tokoferoli, steroli, itp. nie przekracza 1,0% (zawartość steroli wynosi około 250 mg/kg, a tokoferoli – 37 mg/kg). Olej lniany jest bogatym źródłem PUFA. Łączna zawartość ALA i LA wynosi ponad 60% wszystkich kwasów tłuszczowych występujących w tym oleju, z czego ALA jest 2 – 3 razy więcej niż LA.

Lnianka siewna (*Camelina sativa*) nazywana również lnicznikiem, rydzem, lennicą, należy do rodziny roślin krzyżowych (*Cruciferae*), rodzaju *Camelina* [28]. Pierwsze uprawy lnianki pojawiły się na terenie obecnych Niemiec już w czasach starożytnych. Początkowo uważana była za chwast, który towarzyszył uprawom lnu. Po uszlachetnieniu stała się cenną rośliną uprawianą w Europie, Azji, Ameryce Północnej i Południowej [16]. Najważniejszą częścią lnianki siewnej są nasiona, które zawierają 30 – 40% tłuszczu i 25 – 45% białka w przeliczeniu na suchą masę [27]. Olej wytłoczony z nasion lnianki charakteryzuje się bardzo wysoką wartością odżywczą, zawiera bowiem dużą ilość nienasyconych kwasów tłuszczowych oraz polifenoli [8, 40]. Olej z lnianki jest również bogaty w antyoksydanty, tokoferole i witaminę E [21].

Pszczelnik mołdawski (*Dracocephalum moldavicum* L.) należy do rodziny wargowych, *Lamiaceae* (*Labiatae*), która liczy około 40 – 70 gatunków. Rośliny te zalicza się do jednorocznych, bylin i zimozielonych krzewinek. Za naturalne siedlisko uznaje się rejon Azji Centralnej. Na drodze introdukcji rośliny z tej rodziny zadomowiły się na całej Półkuli Północnej, jednak w Polsce występują tylko 4 gatunki tej rośliny. Wśród nich najpopularniejszy jest pszczelnik mołdawski, który znaleźć można m.in. w ogrodach botanicznych oraz na działkach, uprawiany jako roślina miododajna, oleista, aromatyczna, ozdobna i lecznicza [36]. *Dracocephalum moldavicum* L. występuje w dwóch formach tj.: o kwiatach białych lub o kwiatach fioletowo-purpurowo-niebieskich. Według badań przeprowadzonych przez Hanczkowskiego i wsp. [15] nasiona odmiany niebieskiej *Dracocephalum moldavica* L. zawierają około 21,03% białka, 24,02% tłuszczu, 11,23% włókna oraz 4,91% popiołu. Odmiana biała natomiast charakteryzuje się zawartością 21,39% białka, 23,62% tłuszczu, 11,10% włókna i 5,03% popiołu. Należy podkreślić, że białko obu odmian zawiera dużo aminokwasów siarkowych (metioniny i cysteiny). Olej z pszczelnika charakteryzuje się bardzo wysoką zawartością nienasyconych kwasów tłuszczowych. Sumaryczna zawartość tych kwasów wynosi około 80% występujących w tym oleju, z czego ALA stanowi około 60%. Ponadto olej zawiera witaminę E (gamma-tokoferol) i naturalne fitosterole (np. beta-sitosterol) [10].

Prawidłowa dieta matki, bogata w nienasycone kwasy tłuszczowe, sprzyja właściwemu rozwojowi płodu, a zwłaszcza jego mózgu i układu nerwowego. Dieta matki ma również ogromny wpływ na skład mleka kobiecego. Każdy z kwasów tłuszczowych występujących w tłuszczu mleka kobiecego,

szczególnie tych długołańcuchowych wielonienasyconych, spełnia swoistą rolę w dynamicznie rozwijającym się organizmie niemowlęcia [29]. Z tego względu, że PUFA są niezbędne we wczesnym okresie rozwoju organizmu, dieta matek karmiących powinna być bogata w te kwasy. Również mieszanki dla niemowląt i małych dzieci powinny zawierać PUFA na wystarczającym poziomie [5]. Głównie ze względu na sposób trawienia i wchłaniania kwasów tłuszczowych w organizmie dziecka istotny jest nie tylko sam skład kwasów tłuszczowych w TAG, ale przede wszystkim struktura regiospecyficzna TAG, która jest unikatowa w mleku matki [6, 19, 32]. To właśnie ta specyfika stereoizomeryczna TAG obecnych w mleku kobiecym przyczynia się do zwiększenia absorpcji tłuszczu z pokarmu oraz zmniejszenia tworzenia się nierozpuszczalnych soli wapniowych i nadmiernego wydalania wapnia i innych soli z organizmu [4, 20].

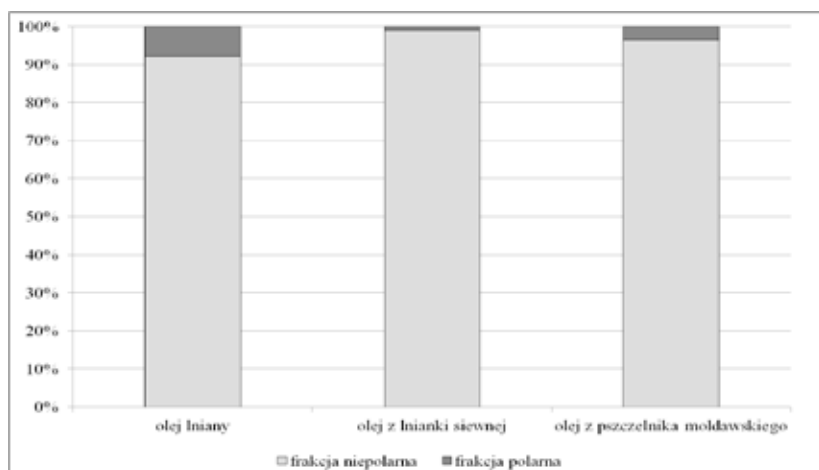
Celem artykułu jest przedstawienie uzyskanych wyników badań dotyczących charakterystyki olejów roślinnych bogatych w kwasy z rodziny omega-3 pod względem składu kwasów tłuszczowych i ich rozmieszczenia w cząsteczkach triacylogliceroli. Podjęto również próbe porównania wybranych właściwości analizowanych olejów z danymi literaturowymi dotyczącymi tłuszczu mleka kobiecego.

MATERIAŁ I METODY

Materiał badawczy stanowiły oleje roślinne tłoczone na zimno, nieoczyszczone, firmy OLVita: lniany, z lnianki siewnej i z pszczelnika mołdawskiego. Oleje bezpośrednio po zakupie przetrzymywane były przez 2-3 dni w butelkach z ciemnego szkła w temperaturze 4°C a następnie poddane były analizie. Wszystkie oleje roślinne badano w okresie ich przydatności do spożycia, niezwłocznie po otwarciu opakowania. W olejach oznaczano zawartość frakcji polarnej metodą chromatografii kolumnowej [26]. W wyizolowanych frakcjach TAG określano skład kwasów tłuszczowych metodą chromatografii gazowej [24, 25] oraz ich rozmieszczenie w pozycjach *sn-2* i *sn-1,3* TAG. W celu określenia struktury TAG, oleje poddano hydrolizie z użyciem lipazy trzustkowej, specyficznej w stosunku do wiązań estrowych zajmujących pozycje *sn-1,3*. Warunki przeprowadzonej reakcji ustalono na podstawie doniesień literaturowych [2].

WYNIKI I DYSKUSJA

Tłuszcze składają się z dwóch frakcji: polarnej, do której zaliczamy między innymi monoacyloglicerole, diacyloglicerole i wolne kwasy tłuszczowe, oraz niepolarnej zawierającej TAG. Podczas życia płodowego organizmu człowieka głównym źródłem energii jest glukoza, podczas gdy zapotrzebowanie na kwasy tłuszczowe pokrywane jest głównie przez wolne kwasy tłuszczowe pochodzące z matczyne go krwioobiegu. Po narodzinach dziecka, tłuszcz dostarczany jest do jego organizmu z mleka matki, głównie w postaci TAG [14]. TAG są to magazyny skondensowanej energii. Jeden gram bezwodnego tłuszczu magazynuje ponad 6-krotnie więcej energii niż taka sama ilość uwodnionego glikogenu. Dlatego u zwierząt TAG stanowią główny materiał zapasowy [37].



Rys. 1. Zawartość frakcji polarnej i niepolarnej w badanych olejach roślinnych.

Fig. 1. The content of polar and non-polar fractions in the studied vegetable oils.

Źródło: Badania własne

Source: The own study

TAG były głównym składnikiem olejów roślinnych będących przedmiotem badań, podobnie jak tłuszczu mleka kobycego. Zawartość frakcji niepolarnej, czyli TAG, w badanych olejach wahała się od 92,2% w oleju lnianym do 98,9% w oleju z lnianki siewnej. Olej z pszczenika moldawskiego zawierał 96,5% związków niepolarnych (rys. 1). Najmniejszą zawartością frakcji TAG, a tym samym największą zawartością frakcji polarnej, charakteryzował się zatem olej lniany. Na zawartość związków polarnych wpływa między innymi jakość ziaren użytych do tłoczenia oraz warunki wydobycia oleju. Froment i wsp. [13] udowodnili, że zarówno na zawartość poszczególnych kwasów tłuszczowych, jak i zawartość frakcji polarnej, mają wpływ warunki klimatyczne i gleba, na której uprawiana jest roślina. W skład frakcji polarnej wchodzi m.in. wolne kwasy tłuszczowe, wskazujące na stopień hydrolizy tłuszczu. Prawdopodobnie zatem jest, że na wyższą zawartość frakcji polarnej w badanych olejach roślinnych mogły mieć wpływ długie lub nieodpowiednie warunki ich przechowywania, co przyczyniło się do szybszej hydrolizy tłuszczu i powstania większej ilości wolnych kwasów tłuszczowych [21].

Tłuszcze charakteryzują się specyficznym składem kwasów tłuszczowych w cząsteczkach TAG. Czynnikiem determinującym skład kwasów tłuszczowych jest rodzaj tłuszczu. W tabeli 1 przedstawiono skład kwasów tłuszczowych olejów roślinnych będących przedmiotem badań. Badany olej lniany okazał się bogatym źródłem PUFA, a szczególnie ALA, którego zawartość wynosiła około 50% kwasów tłuszczowych. Wśród kwasów o dwóch podwójnych wiązaniach w największej ilości występował LA (ok. 18% kwasów tłuszczowych), natomiast wśród kwasów o pojedynczym wiązaniu dominował kwas oleinowy (ok. 17% kwasów tłuszczowych). Głównym przedstawicielem kwasów nasyconych w oleju lnianym był kwas palmitynowy, którego zawartość w tym oleju wynosiła około 7% kwasów tłuszczowych.

Zbliżoną zawartość PUFA w oleju lnianym uzyskał El-Beltagi i wsp. [12]. W badanym przez naukowców oleju zawartość ALA wynosiła ok. 48% kwasów tłuszczowych, natomiast zawartość LA wynosiła ok. 18% kwasów tłuszczowych.

W oleju z lnianki siewnej, podobnie jak w oleju lnianym, dominowały PUFA, w tym ALA, który stanowił ok. 40% wszystkich kwasów tłuszczowych występujących w tym oleju. Zawartość LA, jak i monoenuowego kwasu oleinowego, była podobna i wynosiła około 18% kwasów tłuszczowych. Wśród kwasów nasyconych dominował kwas palmitynowy, którego zawartość w tym oleju wynosiła ok. 8% kwasów tłuszczowych. Okazuje się, że badany w niniejszej pracy olej z lnianki siewnej charakteryzował się wyższą zawartością ALA oraz LA niż podają to dane dostępne w literaturze. Budin i wsp. [8] otrzymali następujące wyniki analizy oleju z lnianki siewnej: PUFA stanowiły około 51% kwasów tłuszczowych, w tym ALA stanowił ok. 31% kwasów tłuszczowych, natomiast zbliżoną do uzyskanej w niniejszej pracy zawartość ALA uzyskał Zubr [39]. W badaniach tego Autora 18-węglowy kwas omega-3 stanowił ok. 38% kwasów tłuszczowych oleju z lnianki siewnej, zaś LA ok. 15% kwasów tłuszczowych.

Tabela 1. Skład kwasów tłuszczowych olejów roślinnych będących przedmiotem badań

Table 1. The fatty acid composition of vegetable oils being the subject of research

Kwas tłuszczowy *C n:m	Zawartość [%]		
	olej lniany	olej z lnianki	olej z pszczenika moldawskiego
C16:0	7 ± 2	8 ± 2	6,0 ± 0,5
C18:0	2,57 ± 0,01	4 ± 2	2,9 ± 0,1
C18:1	17,1 ± 0,5	18,2 ± 0,6	10,1 ± 0,2
C18:2 n-6 (LA)	17,7 ± 0,6	18 ± 2	20,4 ± 0,2
C18:3 n-3 (ALA)	50 ± 1	40,5 ± 0,4	60,59 ± 0,02
C20:0	1,7 ± 0,3	-	-
C20:1	1,3 ± 0,2	9,8 ± 0,3	-
C22:0	1,9 ± 0,7	-	-
C22:1	-	0,95 ± 0,09	-

*n – liczba atomów węgla, m – liczba podwójnych wiązań

Źródło: Badania własne

Source: The own study

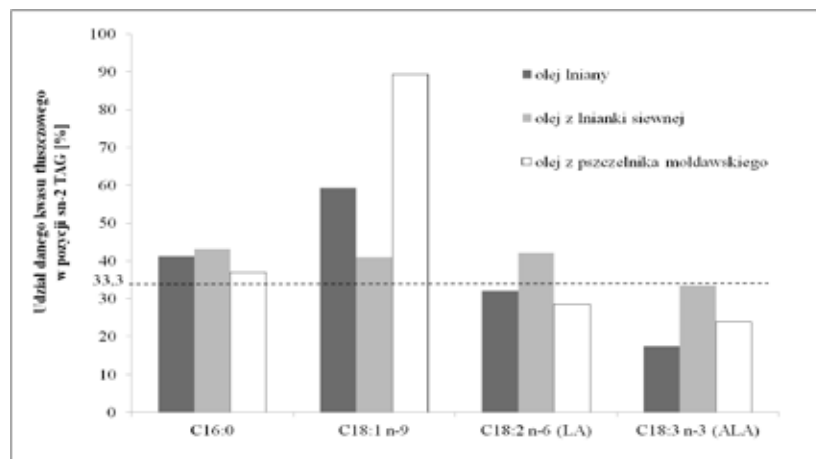
Wśród olejów roślinnych badanych w pracy, najwyższą zawartością PUFA charakteryzował się olej z pszczenika moldawskiego. W badanym oleju z pszczenika moldawskiego dominowały PUFA, w tym ALA, którego zawartość w tym oleju wynosiła ponad 60% kwasów tłuszczowych. LA w badanym oleju z pszczenika moldawskiego stanowił ponad 20% kwasów tłuszczowych, a zawartość monoenuowego kwasu oleinowego wynosiła ok. 10% kwasów tłuszczowych. Podobne wyniki składu kwasów tłuszczowych w oleju z pszczenika moldawskiego otrzymali Abdel-Raheem [1], Stuchlik i Žak [34] oraz Hanczkowski i wsp. [15]. W każdej z wymienionych publikacji przedstawiona łączna zawartość kwasów nienasyconych wynosiła ok. 80% kwasów tłuszczowych.

W porównaniu do wyników uzyskanych w niniejszej pracy, tylko Hanczkowski i wsp. [15] uzyskali wyższą zawartość ALA, równą 63,9% kwasów tłuszczowych.

Mając na uwadze tłuszcz mleka kobyeciego można stwierdzić, że w tłuszczu tym dominują kwasy nasycone, które stanowią ponad 40% wszystkich kwasów tłuszczowych, z czego głównym przedstawicielem jest kwas palmitynowy. Ogólna ilość kwasów monoenowych w tłuszczu mleka kobyeciego wynosi około 40% kwasów tłuszczowych, zaś wśród nich dominuje kwas oleinowy. Tłuszcz mleka kobyeciego jest także bogaty w wielonienasycone kwasy tłuszczowe takie jak LA i ALA [4, 6, 19]. W mleku kobiecym występują również kwasy tłuszczowe, których nie zawiera żadne inne mleko, określane mianem długołańcuchowych wielonienasyconych kwasów tłuszczowych (LC-PUFA) i są to m.in. kwas arachidonowy i kwas dokozaheksaenowy [30]. Wszystkie spośród badanych w pracy olejów roślinnych okazały się bogatym źródłem polienowych kwasów tłuszczowych. Całkowita zawartość PUFA w TAG mleka kobyeciego wynosi ok. 10% [4], zatem w porównaniu do tłuszczu mleka kobyeciego zawartość tych kwasów w olejach była 6-, a nawet 8-krotnie większa, w przypadku oleju z pszczelnika mołdawskiego. W porównaniu do tłuszczu mleka kobyeciego badane oleje nie zawierały jednak LC-PUFA, mających istotny wpływ na rozwój i wzrost niemowląt oraz małych dzieci. Kwasy te mogą być jednak otrzymywane z ich prekursorów takich jak LA i ALA w procesie ich syntezy ustrojowej. LC-PUFA stanowią składnik błon biologicznych wszystkich komórek i odgrywają szczególną rolę w rozwoju układu nerwowego, mózgu i siatkówki oka [33]. Obecnie w mleku modyfikowanym dla zdrowych niemowląt zalecana jest suplementacja LA i ALA jako prekursorów do ustrojowej syntezy ich długołańcuchowych pochodnych. Spośród badanych w pracy olejów najwyższą zawartością ALA oraz LA charakteryzował się olej z pszczelnika mołdawskiego (łączna zawartość ok. 81%). Najmniejsza zawartość tych kwasów występowała zaś w oleju z lnianki siewnej (ok. 59%).

Na właściwości tłuszczu wpływa nie tylko skład kwasów tłuszczowych, ale również rozmieszczenie kwasów w poszczególnych pozycjach TAG. Szacuje się, że w tłuszczach roślinnych występuje od 5 do 15 różnych kwasów tłuszczowych. Każda reszta kwasowa może zajmować różne pozycje: zewnętrzne (*sn*-1,3) lub wewnętrzną (*sn*-2). Rozmieszczenie acyli w cząsteczkach TAG ma kluczowe znaczenie z żywieniowego punktu widzenia. Lipaza trzustkowa, odpowiedzialna za hydrolizę wiązań estrowych TAG, odczepia tylko kwasy tłuszczowe znajdujące się w pozycjach zewnętrznych, monoacyloglicerole są natomiast wchłaniane do naszego organizmu w stanie niezmienionym [3, 38].

W oleju lnianym w największej ilości w pozycji *sn*-2 występował kwas oleinowy (ok. 30%), a jego udział w tej pozycji wynosił ok. 60% (rys. 2). ALA stanowił w oleju lnianym ponad 50%, jednak jego udział w pozycji *sn*-2 był niski i wynosił ok. 17%, zatem większość tego kwasu znajdowała się w pozycjach zewnętrznych TAG. W oleju lnianym badanym przez Khodadai i wsp. [18] zawartość ALA w TAG



Rys. 2. Udział danych kwasów tłuszczowych w pozycji *sn*-2 TAG analizowanych olejów roślinnych.

Fig. 2. The share of the fatty acids in the *sn*-2 position of TAG of the analyzed vegetable oils.

Źródło: Badania własne

Source: The own study

wynosiła 50,28%, a ok. 53% tego kwasu znajdowało się w pozycji *sn*-2, czyli ponad trzykrotnie więcej niż w uzyskanych w pracy wynikach. Khodadai i wsp. [18] uzyskali również większy udział LA w pozycji wewnętrznej, natomiast znacznie niższy kwasu oleinowego. Mu i wsp. [22] otrzymali bardzo zbliżone wyniki do Khodadai i wsp. [18]. W oleju z lnianki siewnej w największej ilości w pozycji środkowej TAG poza ALA, występował kwas oleinowy i LA. Również udział tych kwasów w pozycji *sn*-2 był wysoki, gdyż wynosił on 41% dla kwasu oleinowego i 42% dla LA. W porównaniu do rozmieszczenia kwasów tłuszczowych w oleju lnianym, udział kwasu ALA w pozycji *sn*-2 TAG oleju z lnianki siewnej był znacznie wyższy i wynosił ok. 33%.

Wielonienasycony kwas ALA stanowił w badanym oleju z pszczelnika mołdawskiego aż 60%, jednak jego udział w pozycji *sn*-2 wynosił tylko ok. 24%, zatem kwas ten znajdował się głównie w pozycjach zewnętrznych TAG. W pozycji *sn*-2 TAG oleju z pszczelnika mołdawskiego w największej ilości występowały, oprócz ALA, również kwas oleinowy i LA. Udział kwasu oleinowego w pozycji środkowej TAG był bardzo wysoki, gdyż wynosił ok. 90%, zatem kwas ten okupował głównie pozycje *sn*-2 TAG, natomiast udział LA w pozycji środkowej wynosił około 28%, zatem kwas ten znajdował się głównie w pozycjach zewnętrznych TAG.

W mleku kobiecym ok. 80% wszystkich kwasów tłuszczowych są to kwasy nasycone i jednonienasycone. Zawartość kwasu palmitynowego w mleku matki wynosi ok. 20% wszystkich kwasów tłuszczowych, z czego ponad 60% znajduje się w pozycji *sn*-2 TAG [17]. W badanych olejach roślinnych udział kwasu palmitynowego w pozycji wewnętrznej TAG był nieco niższy w porównaniu z tłuszczem mleka kobyeciego i wynosił około 40%. TAG w badanych olejach roślinnych, podobnie jak w olejach powszechnie stosowanych w odżywkach dla niemowląt, charakteryzują się zatem nieco odmienną strukturą regiospecyficzną w porównaniu z TAG tłuszczu mleka kobyeciego. Nasycone kwasy tłuszczowe w olejach roślinnych wykazują preferencję do obsadzania pozycji skrajnych, tj. *sn*-1 lub *sn*-3, nienasycone natomiast, szczególnie kwas linolowy, w pozycji *sn*-2

[9]. Takie różnice w strukturze regiospecyficznego TAG mogą mieć swoje przełożenie na rodzaje produktów powstających w organizmie ludzkim w wyniku hydrolizy TAG. Jak wspomniano wcześniej, lipaza trzustkowa wykazuje specyficzną zdolność do odczepiania kwasów tłuszczowych wyłącznie z pozycji skrajnych, tj. *sn*-1 lub *sn*-3. Uwolnione w wyniku hydrolizy TAG mleka kobiecego kwasy tłuszczowe, głównie mono- i dienowe oraz ich sole wapniowe są dobrze wchłaniane w organizmie dziecka. Natomiast w przypadku hydrolizy TAG olejów roślinnych, np. dodawanych do mleka modyfikowanego, odczepione ze skrajnych pozycji wolne kwasy tłuszczowe, w większości nasycone, są gorzej wchłaniane i jako takie reagują z wolnymi jonami Ca^{2+} tworząc nierozpuszczalne sole wapniowe, które następnie są wraz z kałem usuwane z organizmu [9]. Należy zatem zwrócić szczególną uwagę na kompozycje tłuszczów wchodzących w skład preparatów mleka modyfikowanego dla niemowląt. Oleje roślinne nie mogą być jedynym składnikiem tłuszczowym takich preparatów, gdyż na skutek innej niż w mleku kobiecym struktury regiospecyficznego TAG mogą zmieniać warunki wchłaniania tłuszczu oraz powodować zmniejszenie dostępności wapnia dla organizmu małego dziecka [9]. W celu uzyskania podobnej struktury regiospecyficznego TAG mleka modyfikowanego, do tłuszczu mleka kobiecego stosuje się modyfikacje różnego rodzaju tłuszczów. Jednym ze sposobów modyfikacji tłuszczów jest przeestryfikowanie enzymatyczne, w którym jako katalizatory wykorzystywane są enzymy lipolityczne [7].

PODSUMOWANIE

1. Wszystkie spośród badanych olejów roślinnych okazały się bogatym źródłem niezbędnych nienasyconych kwasów tłuszczowych. Najwyższą zawartością kwasów α -linolenowego (ALA) oraz linolowego (LA) charakteryzował się olej z pszczałnika mołdawskiego.
2. We wszystkich badanych olejach roślinnych wśród wielonienasyconych kwasów tłuszczowych (PUFA) dominował ALA, będący prekursorem kwasu dokozaheksaenowego należącego do długołańcuchowych wielonienasyconych kwasów tłuszczowych (LC-PUFA), występującego w tłuszczu mleka kobiecego i pełniącego ważne funkcje w organizmie niemowlęcia.
3. Oleje roślinne będące przedmiotem badań mogą znaleźć zastosowanie jako jeden ze składników wzbogacających dietę kobiet karmiących w kwasy tłuszczowe z rodziny omega-3 oraz jako składnik mieszanek dla niemowląt i małych dzieci.
4. Triacyloglicerole (TAG) w badanych olejach roślinnych mają odmienną strukturę regiospecyficzną w porównaniu z TAG tłuszczu mleka kobiecego. Oleje roślinne nie mogą być jedynym składnikiem tłuszczowym preparatów mleka modyfikowanego, gdyż na skutek innej niż w mleku kobiecym struktury regiospecyficznego TAG mogą zmieniać warunki wchłaniania tłuszczu oraz powodować zmniejszenie dostępności wapnia dla organizmu małego dziecka.

LITERATURA

- [1] **ABDEL-REHEEM M. A., R. BHELLA, D. HILDERBRAND. 2008.** „Linolenic acid accumulation in *Dracocephalum moldavica* L.” *Lipids* 43: 749 – 755.
- [2] **BROCKERHOFF H. 1965.** „A stereospecific analysis of triglycerides.” *Journal of Lipid Research* 1 (6): 10 – 15.
- [3] **BRYŚ J., M. WIRKOWSKA. 2010.** „Znaczenie struktury triacylogliceroli w projektowaniu lipidów ustrukturyzowanych.” *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego* 2 (20/37): 86 – 89.
- [4] **BRYŚ J., M. WIRKOWSKA, A. GÓRSKA, K. GAJDA, A. BRYŚ. 2012.** „Charakterystyka i porównanie wybranych parametrów tłuszczu mleka modyfikowanego początkowego i tłuszczu mleka kobiecego.” *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego* 22(1): 13 – 17.
- [5] **BRYŚ J., M. WIRKOWSKA, A. GÓRSKA, E. OSTROWSKA-LIGĘZA, A. BRYŚ. 2014.** „Application of the calorimetric and spectroscopic methods in analytical evaluation of the human milk fat substitutes.” *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 118: 841-848.
- [6] **BRYŚ J., M. WIRKOWSKA, A. GÓRSKA, E. OSTROWSKA-LIGĘZA, H. CIEMNIEWSKA-ŻYTKIEWICZ, D. KOWALSKA. 2015.** „Próba uzyskania zamienników tłuszczu mleka kobiecego na drodze przeestryfikowania enzymatycznego.” *Bromatologia i Chemia Toksykologiczna* 48 (3): 265-269.
- [7] **BRYŚ J., M. WIRKOWSKA, B. KOWALSKI. 2006.** „Przeestryfikowanie mieszanin tłuszczu mlekowego z olejem słonecznikowym w obecności preparatu Novozym 435.” *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość* 2 (47): 28-35.
- [8] **BUDIN J. T., W. M. BREENE, D. H. PUTNAM. 1995.** „Some compositional properties of camelina (*Camelina sativa* L. Crantz) seeds and oils.” *Journal of the American Oil Chemist's Society* 72 (3): 309 – 315.
- [9] **CICHOŃ R., A. STOLYHWO. 1999.** „Charakterystyka tłuszczów spożywczych dla dzieci.” *Pediatrica Współczesna. Gastroenterologia, Hepatologia i Żywnienie Dziecka* 1 (2/3): 151-154.
- [10] **CUVELIER M. E., C. BERSET. 2001.** „Antioxidant properties of Moldavian dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.)” *Journal of Food Lipids* 8: 45 – 64.
- [11] **DROZDOWSKI B. 1988.** *Lipidy w: Chemia Żywności* (Sikorski Z. E. red.), Warszawa: Wyd. PWN.
- [12] **EL-BELTAGI H. S., Z. A. SALAMA, D. M. EL-HARIRI. 2007.** „Evaluation of fatty acids profile and the content of some secondary metabolites in seeds of different flax cultivars (*Linum usitatissimum* L.)” *General and Applied Plant Physiology* 33 (3 – 4): 187 – 202.
- [13] **FROMENT M. A., J. SMITH, K. FREEMAN. 1999.** „Influence of environmental and agronomic factors contributing to increased levels of phospholipids in oil from UK linseed *Linum usitatissimum*.” *Industrial Crops and Products* 10: 201 – 207.

- [14] HAMOSH M., J. BITMAN, L. WOOD, P. HAMOSH, N. R. METHA. 1985. „Lipids in Milk and the First Steps in Their Digestion.” *Pediatrics* 1 (75): 146-150.
- [15] HANCZAKOWSKI P., B. SZYMCZYK, S. KWIATKOWSKI, T. WOLSKI. 2009. „Skład i wartość pokarmowa białka nasion pszczeniaka mołdawskiego (*Dracocephalum moldavica* L.).” *Rocznik Nauk Zootechnicznych* 36 (1): 55 – 61.
- [16] JASIŃSKA Z., A. KOTECKI. 1999. „Rośliny Oleiste.” *Szczegółowa Uprawa Roślin II* 10: 449 – 451, 485 – 487, 523 – 524.
- [17] JENSEN R. G. 1996. „The lipids in human milk.” *Progress in Lipid Research* 1 (35): 53-92.
- [18] KHODADAI M., S. AZIS, R. ST-LOUIS, S. KERMASHA. 2013. „Lipase catalysed synthesis and characterization of flaxseed oil based on structured lipids.” *Journal of Functional Foods* 5 (1): 424 – 433.
- [19] LOPEZ-LOPEZ A., A. I. CASTELLOTE-BARGALLÓ, C. CAMPOY-FOLGOSO, M. RIVERO-URGEL, M. C. LOPEZ-SABATER. 2002. „Fatty acid and sn-2 fatty acid composition in human milk from Granada (Spain) and infant formulas.” *European Journal of Clinical Nutrition* 12 (56): 1242-1254.
- [20] LOPEZ-LOPEZ A., A. I. CASTELLOTE-BARGALLÓ, C. CAMPOY-FOLGOSO, M. RIVERO-URGEL, R. TORMO-CARNICE, D. INFANTE-PINA, M. C. LOPEZ-SABATER. 2001. „The influence of dietary palmitic acid triacylglyceride position on the fatty acid, calcium and magnesium contents of at term newborn faeces.” *Early Human Development suppl* (65): 83-94.
- [21] MIŃKOWSKI K., S. GRZEŚKIEWICZ, M. JERZEWSKA, M. ROPELEWSKA. 2010. „Charakterystyka składu chemicznego olejów roślinnych o wysokiej zawartości kwasów linolenowych.” *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość* 6 (73): 146 – 157.
- [22] MU H., X. XU, C.E. HOY. 1998. „Production of specific structured triacyloglycerols by lipase-catalyzed intersteryfication in laboratory-scale continuous reactor.” *Journal of the American Oil Chemists’ Society* 75: 1187 – 1193.
- [23] PIŁAT B., R. ZADERNOWSKI. 2010. „Physico-chemical characteristic of linseed oil and flour.” *Polish Journal of Natural Sciences* 25 (1): 106 – 113.
- [24] PN-EN ISO:5508. Oleje i tłuszcze roślinne oraz zwierzęce, Analiza estrów metylowych kwasów tłuszczowych metodą chromatografii gazowej.
- [25] PN-EN ISO:5509. Oleje i tłuszcze roślinne oraz zwierzęce, Przygotowanie estrów metylowych kwasów tłuszczowych.
- [26] PN-EN ISO:8420. Oleje i tłuszcze roślinne oraz zwierzęce. Oznaczanie zawartości związków polarnych.
- [27] QUEZADA N., G. CHERIAN. 2012. „Lipid characterization and antioxidant status of seeds and meals of *Camelina sativa* and flax.” *European Journal of Lipid Science and Technology* 114: 947 – 982.
- [28] SARWA A. 2001. *Wielki Leksykon Roślin Leczniczych*. Warszawa: Wydawnictwo Książka i Wiedza: 96: 234.
- [29] SCHUBERT R., R. KITZ, C. BEERMAN, M. A. ROSE, P. C. BAER, S. ZIELEN, H. BOEHLES. 2007. „Influence of low-dose polyunsaturated fatty acids supplementation on the inflammatory response of healthy adults.” *Nutrition* 23: 724 – 730.
- [30] SILVA M. H. L., M. T. C. SILVA, S. C. C. BRAN-DAO, J. C. GOMES, L. A. PETERNELLI, S. FRANCCHINI. 2005. „Fatty acid composition of mature breast milk in Brazilian women.” *Food Chemistry* 2 (93): 297-303.
- [31] SIMOPOLOUS A. P. 2001. „Evolutionary aspect of diet, essential fatty and cardiovascular disease.” *European Heart Journal. Supl.* 3. 8 – 21.
- [32] STOLARCZYK A. 1999. „Tłuszcze w żywieniu niemowląt i w wybranych preparatach leczniczych.” *Pediatrya Współczesna. Gastroenterologia, Hepatologia i Żywnienie Dziecka* 2/3 (1): 155-160.
- [33] STOLARCZYK A., P. SOCHA. 2002. „Tłuszcze w żywieniu niemowląt.” *Nowa Pediatrya* 3: 200-203.
- [34] STUHLIK M., S. ŽÁK. 2002. „Vegetable lipids as component of functional foods.” *Biomedical Papers* 146 (2): 3 – 10.
- [35] WCISŁO W., W. ROGOWSKI. 2006. „Rola wielonienasyconych kwasów tłuszczowych omega-3 w organizmie człowieka.” *Cardiovascular Forum* 11 (3): 39 – 43.
- [36] WOLSKI T., S. KWIATKOWSKI. 2006. „Biologia wzrostu i rozwoju pszczeniaka mołdawskiego (*Dracocephalum moldavica* L.) rośliny aromatycznej o właściwościach leczniczych.” *Postępy Fizjoterapii* 1: 2 – 10.
- [37] ŽÁK J. 2001. „Lipidy i pochodne.” *Chemia Medyczna*, wyd. ŚLAM: 193-220.
- [38] ZIEMLAŃSKI Ś., J. BUDZYŃSKA-TOPOŁOWSKA. 1991. *Tłuszcze pożywienia i lipidy ustrojowe*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN: 15 – 28, 49 – 55.
- [39] ZUBR J. 2002. „Dietary fatty acids and amino acids of *Camelina sativa* seed.” *Journal of Food Quality* 26: 451 – 462.
- [40] ZUBR J., B. MATTHÄUS. 2002. „Effects of growth conditions on fatty acids and tocopherols in *Camelina sativa* oil.” *Industrial Crops and Products* 15: 155 – 162.