

MICROEMULSIONS AS CARRIERS OF OMEGA-3 POLYUNSATURATED FATTY ACIDS

MIKROEMULSJE JAKO NOŚNIKI KWASÓW TŁUSZCZOWYCH OMEGA-3

GÓRSKA Anna, KRUPA Anna

Katedra Technologii Postaci Leku i Biofarmacji, Wydział Farmaceutyczny, Uniwersytet Jagielloński Collegium Medicum, ul. Medyczna 9, 30-688 Kraków, Polska

Abstract

Design of novel foodstuffs rich in natural bioactive substances is one of the main research field in the food industry. There are many clinical reports on beneficial effects of either docosahexaenoic acid (DHA) or eicosapentaenoic acid (EPA) on health. In general n-3 polyunsaturated fatty acids (n-3 PUFAs) are significant structural components of cell membranes. Since DHA and EPA represent exogenous fatty acids, their level in the human body depends on the dietary intake. Therefore there is a need to enrich food by bioactive compounds. It has been shown that the application of polyunsaturated fatty acids such as α -linolenic acid in traditional foodstuffs permits to obtain a kind of functional food that can be used to improve both health and skin condition. However low stability of natural bioactive components limits their application in food, especially on an industrial scale. Due to this fact efforts are made to prepare new functional food formula containing n-3 PUFAs in a stable form. Microencapsulation process is a well known attempt to prevent their oxidation. Preparation of food-grade microemulsions containing polyunsaturated fatty acids to improve the stability and to ensure pleasant sensory properties of food is discussed in the present study.

Keywords: α -linolenic acid, docosahexaenoic acid (DHA), eicosapentaenoic acid (EPA), microemulsions, microencapsulation, functional foods.

Corresponding author: mgr Anna Górska, an.gorska@uj.edu.pl

Wprowadzenie

Postępy badawcze w zakresie modyfikacji tradycyjnej żywności, w tym optymalizacji metod pozwalających na przedłużenie trwałości oraz zachowanie wysokiej wartości odżywczej wprowadzanych składników dodatkowych, stanowi ważny aspekt rozwoju rynku żywności funkcjonalnej. Produkty z tej kategorii zapoczątkowano w Japonii w roku 1984, a 7 lat później ustanowiono regulacje prawne dotyczące zasad produkcji oraz przyznawania artykułom spożywczym statusu żywności funkcjonalnej, definiowanej najczęściej jako „środki spożywcze specjalnego, żywieniowego przeznaczenia, które wykazują udokumentowany, korzystny wpływ na jedną lub

więcej funkcji organizmu ponad efekt odżywczy, który to wpływ polega na poprawie stanu zdrowia, samopoczucia i/lub zmniejszeniu ryzyka chorób” [1-3]. Szacuje się, że w niedługim czasie co czwarty produkt spożywczy będzie produktem funkcjonalnym. Największy wzrost przewidyje się wśród produktów mlecznych oraz produktów zbożowych.

Szczególną grupę składników żywności funkcjonalnej obok pro- i prebiotyków stanowią kwasy tłuszczowe omega-3 (n-3 lub ω -3) należące do grupy niezbędnych nienasyconych kwasów tłuszczowych (NNKT). Wykorzystywane są one jako podstawowe substraty w syntezie ustrojowo ważnych składników, stąd też stanowią istotny

składnik codziennej diety. Najbardziej bioaktywnymi związkami grupy długołańcuchowych wielonienasyconych kwasów tłuszczowych n-3 są kwas eikozapentaenowy (EPA, C20:5) oraz dokozaheksaenowy (DHA, C22:6) metabolizowane w organizmie z kwasu α -linolenowego (ALA, C18:3).

Najnowsze zalecenia żywieniowe uwzględniają potrzebę dostarczenia w codziennej diecie kwasów tłuszczowych ALA, DHA i EPA, a ponieważ ich głównym źródłem są oleje jadalne, poszukuje się optymalnej ich formy [4].

Opracowywanie skutecznych sposobów poprawy właściwości olejów jadalnych oraz zabezpieczania ich przed niekorzystnym wpływem czynników zewnętrznych takich jak temperatura czy obecność tlenu, stanowi przedmiot zainteresowania technologów i chemików żywności. Interesującym rozwiązaniem może być wprowadzenie bioaktywnych olejów naturalnych do fazy olejowej mikroemulsji, których zastosowanie w technologii żywności jest szeroko dyskutowane w ostatnich latach [5].

Aspekty żywieniowe kwasów tłuszczowych omega-3

Kwas α -linolenowy będący macierzystym kwasem tłuszczowym z rodziny n-3 podobnie jak u większości zwierząt, nie jest wytwarzany w organizmie człowieka, dlatego też musi być dostarczany z pożywieniem. Natomiast może ulegać w organizmie przemianom enzymatycznym, w wyniku, których dochodzi do syntezy EPA i DHA. Z uwagi na niską wydajność procesu (stwierdzono, że 1 g EPA i DHA

powstaje z około 3-4 g ALA), zaleca się spożywanie tłuszczów pochodzących z ryb jako zasadniczego źródła kwasów tłuszczowych DHA i EPA [6-8]. Podstawowym źródłem ALA w żywności są natomiast oleje roślinne (szczególnie olej lniany, rzepakowy i sojowy), siemię lniane oraz orzechy włoskie [7]. Produkty te obok dużej zawartości ALA stanowią również cenne źródło jednonienasyconych kwasów tłuszczowych, witamin oraz mikroelementów [4]. Przeciętną zawartość kwasów DHA, EPA oraz ALA w wybranych produktach przedstawiono w Tabeli 1.

Tab. 1. Zawartość kwasów tłuszczowych ALA, DHA i EPA w wybranych produktach [9]

Źródło/Source	Kwasy tłuszczowe/Fatty acids (g/100 g)	
	ALA	DHA+EPA
Olej lniany Linseed oil	55,3	–
Olej rzepakowy Canola oil	8,6	–
Olej sojowy Soybean oil	7,6	–
Orzechy włoskie Walnut	6,8	–
Makrela Mackerel	–	2,5
Śledź Herring	–	1,7
Łosoś Salmon	–	1,2
Tuńczyk Tuna	–	0,4

W celu zapewnienia odpowiedniej dawki EPA, DHA i ALA w codziennym żywieniu (w zależności od wieku, stanu fizjologicznego odpowiednio: od 0,25 - 3 g EPA + DHA oraz 0,8 - 1,1 g ALA), zaleca się regularne spożywanie odpowiednio ryb oraz olejów roślinnych (w szczególności oleju lnianego,

rzepakowego i sojowego) jak również suplementów lub żywności funkcjonalnej wzbogaconej o te kwasy [10-12]. Niestety spożycie ryb stanowiących bogate źródło kwasów DHA i EPA nierzadko jest zbyt niskie w stosunku do potrzeb metabolicznych organizmu człowieka [8]. Szacuje się, że w Wielkiej Brytanii spożycie ryb wynosi średnio 40 g/dzień, w Polsce 14 g/dzień, w Niemczech 10 g/dzień tymczasem zalecane minimalne spożycie to 69-166 g/dzień (w zależności od płci oraz wieku). Badania przeprowadzone przez Kolanowskiego, wskazują również na niskie spożycie suplementów diety na bazie kwasów tłuszczowych n-3 [13]. Alternatywą może być modyfikowanie tradycyjnej żywności przez dodatek bioaktywnego oleju, otrzymując produkty z kategorii żywności funkcjonalnej ukierunkowane np. na zmniejszenie ryzyka rozwoju chorób układu sercowo-naczyniowego, chorób skóry.

Oleje jadalne bogate w kwasy tłuszczowe omega-3 znajdują zastosowanie, jako dodatek do m.in. produktów mlecznych (w ilości 200 mg/100 g), produktów zbożowych (500 mg/100 g), czy tłuszczów do smarowania i dressingów (600 mg/100 g) [14].

Ważnym aspektem w technologii żywności jest sporządzanie trwałych produktów spożywczych z zastosowaniem naturalnych surowców roślinnych i zwierzęcych przy zachowaniu wysokiej oraz niezmięnionej jakości składników żywnościowych w trakcie ich przechowywania.

Przy projektowaniu i prowadzeniu procesów technologicznych z udziałem olejów bogatych w kwasy n-3 należy uwzględnić konieczność zabezpieczenia żywności przed oksydacją tłuszczu. Prostą metodą jest przechowywanie olejów w obniżonej temperaturze i bez dostępu światła. Praktykowany jest również dodatek przeciwutleniający. Istotne znaczenie ma też dobór właściwego systemu pakowania, a w szczególności stosowanie próżniowych opakowań lub dodatek do ich wnętrza dwutlenku węgla czy azotu, jako gazów obojętnych dla tłuszczu.

Formulacje zawierające kwasy tłuszczowe n-3 przeznaczone do wzbogacania żywności oraz suplementacji, produkowane są powszechnie w formie płynnej - olejowej i mikrokapsułkowej.

Podstawowym celem zastosowania w technologii żywności procesów zmniejszających wielkość cząstek do rozmiarów wyrażonych w nanometrach jest poprawa tekstury i stabilności produktów oraz możliwość wzbogacenia ich o składniki funkcjonalne [11].

Dodatki do żywności mogą być mikrokapsułkowane m.in. metodą suszenia rozpyłowego, ekstruzji, koacerwacji, powlekania w złożu fluidalnym, zamknięcia w liposomach lub cyklodekstrynach. Wśród olejów znane jest mikrokapsułkowanie oleju rybiego, który w takiej postaci znalazł zastosowanie m.in. jako dodatek do kaszek i budyniów. Znane są również próby mikrokapsułkowania m.in. oleju z lnianki *Camelinae oleum* (metoda suszenia rozpył-

wego), oleju słonecznikowego *Helianthi oleum* (metoda suszenia rozpyłowego), lnianego *Lini oleum* (metoda suszenia rozpyłowego), czy oliwy z oliwek *Olivae oleum* (metoda koacerwacji i suszenia rozpyłowego) [15-18].

Zwraca się jednak uwagę, że mikrokapsułki wprowadzone do witaminizowanych napojów czy produktów mlecznych, mogą ulec rozpuczeniu, tracąc swoje zabezpieczające właściwości. Trudność może stanowić również dobór odpowiedniego materiału otoczkującego, którego rodzaj istotnie wpływa na stabilność mikrokapsulek. Wymagane jest by otoczka skutecznie chroniła przed działaniem czynników zewnętrznych, nie reagowała ze składnikami żywności oraz nie wpływała na zapach i smak produktu końcowego. W przypadku mikrokapsułkowania olejów ograniczeniem jest również nasilenie ich charakterystycznego zapachu i smaku w trakcie przechowywania, co w rezultacie wpływa na skrócenie okresu przydatności do spożycia.

Ciekawą formą w przetwórstwie żywności mogą stanowić mikroemulsje czyli termodynamicznie stabilne układy dyspersyjne fazy olejowej i wodnej, w których jeden lub więcej tenzydów/kotencydów służy do ich przeprowadzenia w układ makroskopowo jednofazowy [17,19]. Mikroemulsje w odróżnieniu od mlecznych emulsji (uznawanych za dobrą formę dostarczania dodatkowych składników do żywności) są przezroczyste lub lekko opalizujące, co uwarunkowane jest zmniejszeniem średnicy cząstek fazy rozproszonej do rozmiarów poniżej 140 nm [2,20]. Przezro-

czystość układów mikroemulsyjnych może być szczególnie korzystna przy dodawaniu ich do wybranych artykułów spożywczych gdyż ich obecność nie wpływa na wygląd wzbogacanego produktu oraz może być pomocna m.in. w kontroli jakości. Zmniejszenie wielkości cząstek w układach mikroemulsyjnych, ułatwia również wchłanianie substancji aktywnych. Przewaga mikroemulsji nad makroemulsjami wynika również z jej odporności na mechanizmy destabilizujące takie jak: śmietankowanie, flokulacja czy koalescencja, co jest dodatkową korzyścią podczas przetwarzania oraz przechowywania żywności. Istotne w przypadku zastosowania olejów bogatych w kwasy tłuszczowe n-3 jest również wpływ układów mikroemulsyjnych na zwiększenie ochrony przed procesem utleniania [21-23].

Ważnym czynnikiem stanowiącym o funkcjonalności układów mikroemulsyjnych jako dodatków do żywności jest również niski koszt ich przygotowania, wynikający z praktycznej i prostej metodyki sporządzania, nie wymagającej użycia specjalistycznych urządzeń. Ewentualne koszty wytwarzania nowo opracowanych produktów żywnościowych, nie wzrosłyby więc w stopniu istotnie wpływającym na cenę produktu.

Dodatkową korzyścią może być również ich wpływ na poprawę percepcji smaku oraz maskowanie nieprzyjemnego zapachu.

Spośród olejów jadalnych znane są próby sporządzenia mikroemulsji na bazie oleju rybiego, a także oleju słonecznikowego, rzepakowego, z orzeszków ziemnych,

sojowego, kukurydzianego, szafranowego, sezamowego, oliwkowego [24].

Przy projektowaniu składu jakościowego jadalnych mikroemulsji należy uwzględnić małą liczbę tenzydów i kotenzydów, dopuszczoną do użytku jak również ograniczoną możliwość dodania ich w większej ilości. Stanowi to istotną trudność w procesie sporządzania mikroemulsji, ponieważ dla uzyskania stabilnych układów, wymagane jest zastosowanie dużego stężenia tenzydów (10-40%), a użycie kotenzydów w większości przypadkach również jest konieczne [25,26]. Wiąże się to ze zwiększeniem ryzyka toksyczności produktu końcowego oraz niekorzystnym wpływem na jego smak i zapach.

Pomocne w maskowaniu charakterystycznego smaku tenzydów mogą być substancje dodatkowe znoszące gorzki smak. Należy dokonać starannego wyboru tych substancji, szczególnie jeżeli opracowywany produkt ma spełniać rolę żywności funkcjonalnej. Należy przy tym mieć na uwadze, że część z tych substancji, zmniejszając gorycz produktu, obniża równocześnie ich słodki smak. W tym celu stosowane są m.in. sukraloza – słodzik odznaczający się 500-750 razy słodszy smakiem od sacharozy, octan sodu zaliczany do grupy substancji słonych wykazujący zdolność zmniejszania goryczy

oraz wydobywania „słodczy” produktów lub cyklodekstryny [27]. Dodatek aromatów może również skutecznie zmniejszać gorzki smak, jednak brakuje w literaturze sprecyzowania rodzaju aromatów charakteryzujących się takim działaniem.

Większość tenzydów dopuszczonych do stosowania w żywności należy do grupy niejonowych, ponieważ wykazują one mniejszą toksyczność niż tenzydy jonowe. Charakteryzują się biogodnością nawet przy wysokich stężeniach. Ich zaletą jest również brak wrażliwości na zmiany w szerokim zakresie pH 4-9 oraz na dodatek elektrolitów [28-30]. Listę wybranych tenzydów stosowanych w żywności zamieszczono w Tabeli 2.

Jako kotenzydy stosuje się w żywności alkohole o średniej długości łańcucha węglowodorowego (C5-C10) oraz w mniejszym zakresie aminy i sulfotlenki, które wnikają między cząsteczki tenzydu powodując utworzenie wolnych przestrzeni pomiędzy nimi. W rezultacie uzyskuje się dalsze zmniejszanie napięcia międzyfazowego, wzrost płynności na granicy faz albo odpowiednią jej lepkość. Spośród kotenzydów jedynym alkoholem dopuszczonym do stosowania w żywności jest etanol w stężeniu 10-20% [20,23,30].

Tab. 2. Lista wybranych tenzydów stosowanych w żywności [28]

Grupa główna	Przykłady	Kod
Lecytyny i ich pochodne	Czyste fosfolipidy (np. fosfatydylocholina) i fosfolipidy mieszane	E322
	Fosfolipidy/lecytyna hydroksylowana	E322
Estry kwasu mlekowego	Stearoilomleczan wapnia (stearoilo-2-mleczan wapnia)	E482
	Stearoilomleczan sodu (stearoilo-2-mleczan sodu)	E481

Estry glicerolu i kwasów tłuszczowych	Estry kwasów tłuszczowych i poliglicerolu	E475
	Polirycynooleinian poliglicerolu	E476
Mono-, di-, triglicerydy i ich pochodne	Estry kwasów tłuszczowych i glikolu propylenowego	E477
	Mono- i diglicerydy kwasów tłuszczowych	E471
	Pochodne mono- i diglicerydów fosforanu monosodowego	
	Mono- i diglicerydy kwasów tłuszczowych estryfikowane kwasami octowym i dwuacetylowinowym	E472
	Mono- i diglicerydy kwasów tłuszczowych estryfikowane mleczanami	E472
	Mono- i diglicerydy kwasów tłuszczowych estryfikowane kwasem cytrynowym	E472
	Cytrynian stearylu (mieszanina mono-, di- i tristearylu estryfikowanych kwasem cytrynowym)	E484
	Mono- i diglicerydy diacetylu estryfikowane kwasem winowym (DATEMS)	
	Sukcynyłowane monoglicerydy	E472
	Oksyetylenowane mono- i diglicerydy	
Estry sacharozy z kwasami tłuszczowymi	Mono-, di- i triestry sacharozy i kwasów tłuszczowych	E473
Estry sorbitanu z kwasami tłuszczowymi	Monostearynian sorbitolu	E491
	Tristearynian sorbitolu	E492
Estry polioksyetylenosorbitolu i kwasów tłuszczowych	Monostearynian polioksyetylenosorbitolu	E435
	Tristearynian polioksyetylenosorbitolu	E436
	Monooleinian polioksyetylenosorbitolu	E433

Poszukuje się również nowych tenzydów pochodzenia naturalnego. Na szczególną uwagę zasługują tzw. biotenydy, czyli związki pozyskiwane na drodze biosyntezy mikrobiologicznej głównie przez bakterie oraz w mniejszym stopniu przez niektóre gatunki drożdży. Izolowane są m.in. z *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Lactobacillus acidophilus*, *Candida bombicola*. Związki te mają charakter amfifilowy. Część hydrofilową stanowią tu aminokwasy, węglowodany, fosforany lub cykliczne peptydy, natomiast część lipofilową długołańcuchowe kwasy tłuszczowe lub ich pochodne. Większość biotenydów jest anionowa lub obojętna. W porównaniu z ich syntetycznymi odpowiednikami, biotenydy charakteryzują się mniejszą toksycznością, biodegradowalnością oraz lepszą tolerancją w szerokim zakresie pH i temperatury. Ich dodatkową zaletą są właściwości przeciwbakteryjne, przeciwgrzybicze oraz antyadhe-

zyjne, przez co zapobiegają rozwojowi drobnoustrojów. Dokonując niewielkich zmian w ich strukturze m.in. poprzez zmianę składu pożywki można uzyskać nowe, unikalne właściwości tych związków. Biotenydy mogą znaleźć zastosowanie nie tylko w przemyśle spożywczym, ale również w biomedycynie, przemyśle farmaceutycznym oraz kosmetycznym. Wysoki koszt produkcji tych związków ogranicza jednak ich stosowanie [31-33].

Podsumowanie

Opracowywanie nowych produktów żywnościowych wzbogaconych o bioaktywne oleje, a jednocześnie spełniających rosnące oczekiwania konsumentów, stanowi przedmiot zainteresowania technologów i chemików żywności. Z uwagi na niskie spożycie produktów bogatych w kwasy tłuszczowe n-3 istnieje zapotrzebowanie na artykuły spożywcze, wzbogacone w oleje naturalne.

Rozwiązaniem może być sporządzanie układów mikroemulsyjnych. W tym aspekcie poszukuje się nowych rozwiązań technologicznych, które zapewnią odpowiednią trwałość produktu oraz wyeliminują niekorzystny smak i zapach oleju. Potencjalne korzyści zastosowania układów mikroemulsyjnych w żywności wiążą się m.in z możliwością projektowania nowych produktów wzbogaconych o składniki funkcjonalne, podnoszące ich wartość odżywczą i zdrowotną przy jednoczesnym obniżeniu kosztów produkcji. Wdrożenie układów mikroemulsyjnych do przemysłu spożywczego niesie jednak za sobą trudności wynikające z restrykcyjnych przepisów odnośnie ilości i rodzaju tenzydów oraz kotenzydów możliwych do zastosowania w produktach żywnościowych. Z tego względu konieczne są dalsze badania pod kątem określenia wpływu składników mikroemulsji na organizm człowieka. Niezbędne jest również poszukiwanie nowych tenzydów i kotenzydów.

Resumo

Kunmetigo de novaj manĝaĝoj, kiuj enhavas grandan kvanton da bioaktivaj substancoj estas unu el la ĉefaj esplorkampoj de la manĝaĝproduktanta industrio. Ekzistas multaj raportoj pri la sanigaj efikoj de dokosaheksaenoika acido (DHA) aŭ ejkosapentaenoika acido (EPA). Ĝenerale n-3 poli-nesaturitaj grasaj acidoj (n-3 PNGAs) estas gravaj strukturaj komponantoj de la ĉelaj membranoj. Ĉar DHA kaj EPA estas ekzogenaj grasaj acidoj, ilia nivelo en la homa korpo dependas de la enigo per la dieto. Tial necesas riĉigi nutraĵojn per tiuj bioaktivaj substancoj. Eblis montri, ke la aplikado de poli-nesaturitaj grasaj acidoj kiel α -linolena acido en tradiciaj manĝaĝoj permesas krei specon de kvazaŭ "funkcianta nutraĵo", kiu povas esti uzata por plibonigi la sanon kaj la staton de la haŭto. Tamen la malalta stabileco de naturaj bioaktivaj komponantoj limigas ilian aplikadon en nutraĵoj,

speciale kadre de industria produktado. Kaŭze de tiu fakto, oni klopodas prepari novajn kombinojn de funkciantaj nutraĵoj, kiuj enhavas n-3 PNGAs en stabila formo. La proceso de mikroenkapsulado estas bone konata metodo por preventi ilia oksidado. Preparado de mikroemulsioj, kiuj enhavas poli-nesaturitaj grasaj acidoj, por plibonigi la stabilecon kaj garantiigi agrablajn sensorajn ecojn de la nutraĵoj estas pridiskutita en ĉi tiu esplorartikolo.

References

- 1 Ciborowska, H.; Rudnicka, A.; Dietetyka – żywienie zdrowego i chorego człowieka. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Wydanie III. 2010, 203.
- 2 Krygier, K.; Florowska, A.; Żywność funkcjonalna obecnie i w przyszłości. Przemysł Spożywczy. 2008, 5, 2-6.
- 3 Idzikowska, M.; Janczura, M.; Lepionka, T.; Mościcka, E.; Nanotechnologia w produkcji żywności- kierunki rozwoju, zagrożenia i regulacje prawne. Biuletyn Wydziału Farmaceutycznego Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego. 2012, 4, 26-31.
- 4 Gebauer, S. K.; Psota, T. L.; Harris, W. S.; Kris-Etherton, P. M.; n-3 fatty acid dietary recommendations and food sources to achieve essentiality and cardiovascular benefits. The American Journal of Clinical Nutrition. 2006, 83 (6), 1526-1535.
- 5 Moulik, S. P.; Rakshit, A. K.; Physicochemistry and applications of microemulsions. Indian Society for Surface Science and Technology. 2006, 22 (3-4), 159-186.
- 6 Marciniak-Łukasiak, K.; Rola i znaczenie kwasów tłuszczowych omega-3. Żywność. Nauka. Technologia. Jakość. 2011, 6 (89), 24-35.
- 7 Kris-Etherton, P. M.; Harris, W. S.; Appel, L.J.; Fish consumption, fish oil, omega3 fatty acids, and cardiovascular disease. Circulation. 2002, 106 (21), 2747-2757.
- 8 Lewis, M. D.; Hibbeln, J. R.; Johnson, J. E.; Lin, Y. H.; Hyun, D.Y.; Loewke, J. D.; Suicide deaths of active-duty US military and ω -3 fatty- acid status: a case-control comparison. The Journal of Clinical Psychiatry. 2011, 72 (12), 1585-1590.

- 9 Food and Drug Administration (FDA). Letter regarding dietary supplement health claim for omega-3 fatty acids and coronary heart disease. 2005, 3.
- 10 International Society for the Study of Fatty Acids and Lipids (ISSFAL). Recommendations for intake of polyunsaturated fatty acids in healthy adults. 2004.
- 11 The European Food Safety Authority. Labelling reference intake values for n-3 and n-6 polyunsaturated fatty acids. The EFSA Journal. 2009, 1176, 1-11.
- 12 Grieger, J. A.; Miller, M.; Cobiac, L.;. Fish consumption and use of omega 3 supplements in a sample of older Australians. Nutrition & Dietetics. 2013, 70, 227-235.
- 13 Kolanowski, W.;. Seasonal variability in intake of fish oil dietary supplements among inhabitants of Warsaw. Nutrition Research. 2008, 28 (4), 245-250.
- 14 Stoś, K.; Kunachowicz, H.; Szponar, L.;. Nowa żywność jako źródło składników o działaniu fizjologicznym. W: Jarosz, M.; Bułhak-Jachymczyk, B.;. Normy żywienia człowieka. Wydawnictwo Lekarskie PZWL Warszawa. 2011, 419.
- 15 O'Dwyer, S. P.; O'Beirne, D.; Ní Eidhin, D.; O'Kennedy, B. T.;. Effects of emulsification and microencapsulation on the oxidative stability of camelina and sunflower oils. Journal of Microencapsulation. 2013, 30 (5), 451-459.
- 16 Adamiec, J.;. The effect of some spray drying parameters on the kinetics and microencapsulation of sunflower oil. Proceedings of the XIVth International Workshop on Bioencapsulation. Szwajcaria. 2006, P6-2, 367-370.
- 17 Rakshit, A. K.; Moulik, S. P.;. Physicochemistry of W/O Microemulsions: Formulation, Stability and Droplet Clustering. W: Fanun, M.;. Microemulsions: Properties and Applications. CRC Press, New York, 2009, 17-21.
- 18 Yu, D.; Quiao, W.; Li, Q.; Pei, G.;. Preparation and Properties of Olive Oil Microcapsules. Journal of Fiber Bioengineering & Informatis. 2012, 5 (1) 67-76.
- 19 Patel, N.; Schmid, U.; Lawrence, M. J.;. Phospholipid-based microemulsions suitable for use in foods. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2006, 54 (20), 7817-7824.
- 20 Kluczykowska, B.;. Mikroemulsje – nowe postacie leków. Farmacja Polska. 1996, 52 (14), 921-927.
- 21 Lawrence, M. J.; Rees, G. D.;. Microemulsion-based media as novel drug delivery systems. Advanced Drug Delivery Reviews. 2000, 45 (1), 89-121.
- 22 Pilkington, S. M.; Rhodes, E.;. Omega-3 fatty acids and skin, W: Krutmann, J.; Humbert, P.;. Nutrition for Healthy Skin. Springer. 2011, 91-107.
- 23 Schwuger, M. J.; Stickdorn, K.;. Microemulsions in Technical Process. Chemical Reviews. 1995, 95 (4), 849-864.
- 24 Chmiel, O.; Traitler H.; Voepel, K.;. Food microemulsion formulations. US Patent Nr 5674549. 1997.
- 25 Bagwe, R. P.; Kanicky, J. R.; Palla, B. J.; Patanjali Shah, D. O.;. Improved drug delivery using microemulsions: rationale, recent progress, and new horizons. Critical Reviews in Therapeutic Drug Carrier Systems. 2001, 18 (1), 77-140.
- 26 Dhakar, R. C.; Maura, S. D.; Gupta, A. K.; Jain, A.; Kiroriwal, S.; Gupta, M.;. Microemulsions as a carrier for nose to brain targeting. Pharma Science Monitor-An International Journal of Pharmaceutical Sciences. 2011, 2 (2), 49-78.
- 27 Świdorski, F.;. Żywność wygodna i żywność funkcjonalna. Wyd. Naukowo-Techniczne. Warszawa 2003, 92-93.
- 28 Flanagan, J.; Singh, H.;. Microemulsions: A potential delivery system for bioactives in food. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2006, 46 (3), 221-237.
- 29 McClements, D. J.; Decker, E. A.; Park, Y.; Weiss, J.;. Structural design principles for delivery of bioactive components in nutraceuticals and functional foods. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2009, 49 (6), 577-606

- 30 Mehta, S. K.; Kaur, G.;. Microemulsions as Carriers for Therapeutic Molecules. *Recent Patents on Drug Delivery & Formulation*. 2010, 4 (1), 35-48.
- 31 Banat, I. M.; Franzetti, A.; Gandolfi, I.; Bestetti, G.; Martinotti, M. G.; Fracchia, L.; Smyth, T. J.; Marchant, R.;. Microbial biosurfactants production, applications and future potential. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2010, 87 (2), 427-44.
- 32 Kralova, I.; Sjöblom, J.;. Surfactant used in food industry: a review. *Journal of Dispersion Science and Technology*. 2009, 30 (10), 1363-1383.
- 33 Nitschke, M.; Costa, S. G. V. A. O.;. Biosurfactants in food industry. *Trends in Food Science & Technology*. 2007, 18 (5), 252-259.