Polskie Towarzystwo Nauk Żywieniowych

XXXIV KONFERENCJA DYSKUSYJNA

FAKTY I FIKCJE
W ŻYWIENIU CZŁOWIEKA

Tłuszcze
w żywieniu człowieka

Warszawa, 23 października 2026

XXXIV KONFERENCJA DYSKUSYJNA

z cyklu

FAKTY I FIKCJE W ŻYWIENIU CZŁOWIEKA

Tłuszcze w żywieniu człowieka

Konferencja zorganizowana przez
Polskie Towarzystwo Nauk Żywieniowych
oraz
Wydział Nauk o Zdrowiu
SGGW w Warszawie

23 października 2026, godz. $10^{\underline{00}}$

Konferencja w formie zdalnej
na platformie MS Teams

Redakcja naukowa: dr hab. Magdalena Górnicka, prof. SGGW
Redakcja techniczna: mgr inż. Mariola Araucz
Recenzja: dr hab. Anna Puścion-Jakubik

Polskie Towarzystwo Nauk Żywieniowych – Zarząd Główny
02-776 Warszawa, ul. Nowoursynowska 159c, tel. 22 59 37 123

ISBN 978-83-969665-2-0

PROGRAM RAMOWY

34. Konferencja PTNŻ z cyklu „Fakty i fikcje w żywieniu człowieka”
Tłuszcze w żywieniu człowieka

23 października 2026 (piątek) **godz. 10.00**
on-line: platforma MS Teams

10.00-10.05 Oficjalne otwarcie Konferencji
dr hab. Magdalena Górnicka, prof. SGGW**,** Przewodnicząca Polskiego Towarzystwa Nauk Żywieniowych

Sesja plenarna

10.05-10.25	**Metabolizm i odporność – wielonienasycone kwasy tłuszczo we i ich pochodne w regulacji odpowiedzi zapalnej** dr hab. Joanna Gdula-Argasińska, prof. UJ *Katedra Farmakobiologii, Collegium Medicum, Uniwersytet Jagielloński, Kraków*
10.25-10.45	**Charakterystyka i ocena jakości zdrowotnej frakcji tłuszczowej roślinnych zamienników produktów mlecznych i mięsnych** Prof. dr hab. n. med. i n. o zdr. Hanna Mojska *Zakład Żywienia i Wartości Odżywczej Żywności, Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego PZH-PIB, Warszawa*
10.45-11.05	**Od oleju roślinnego do funkcjonalnego tłuszczu - modyfikowane oleje roślinne jako składnik produktów o podwyższonej wartości odżywczej i korzystnym profilu lipidowym** dr hab. Dominik Kmiecik, prof. UPP *Pracownia Chemii i Technologii Tłuszczów, Wydział Nauk o Żywności i Żywieniu, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu*
11.05-11.25	**Profil lipidowy mleka matki i preparatów do żywienia niemowląt - znaczenie kwasów tłuszczowych w żywieniu najmłodszych** dr inż. Aleksandra Purkiewicz-Petruś, dr hab. inż. Renata Pietrzak-Fiećko, prof. UWM *Katedra Towaroznawstwa i Badań Żywności, Wydział Nauki o Żywności Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Olsztyn*
11.25-11.45	**Od produktu do efektu metabolicznego – wpływ żywności funkcjonalnej na profil lipidowy i skład ciała osób z insulinoopornością i zaburzeniami lipidowymi** dr n. farm. Monika Grabia–Lis *Zakład Bromatologii, Wydział Farmaceutyczny z Oddziałem Medycyny Laboratoryjnej, Uniwersytet Medyczny w Białymstoku*

11.45 – 12.00 Podsumowanie i dyskusja

II Sesja Młodych Naukowców

12.15 – otwarcie II Sesji Młodych Naukowców
dr. n. o zdr. Kacper Szewczyk

	Tytuł wystąpienia / Prelegent
12.20-12.25	**Kwasy tłuszczowe w żywieniu naszych przodków** mgr Łukasz Orszański *Instytut Chemii Ogólnej i Ekologicznej, Politechnika Łódzka*
12.25-12.30	**Związek między zastępowaniem nasyconych kwasów tłuszczowych w diecie innymi składnikami odżywczymi a ryzykiem sercowo-naczyniowym – przegląd dowodów naukowych** mgr Aleksandra Marchut *Katedra Dietetyki, Wydział Nauk o Zdrowiu, SGGW w Warszawie*
12.30-12.35	**Lipidy pochodzenia rybiego w modulacji przewlekłego stanu zapalnego u kobiet z endometriozą: wyniki randomizowanego badania kontrolowanego**

	mgr inż. Angelika Bogusz *Katedra Żywienia Człowieka i Edukacji Zdrowotnej, Wydział Nauk o Zdrowiu, SGGW w Warszawie*
12.35-12.40	**Dieta ketogeniczna w padaczce lekoopornej** inż Marta Cieślak *Instytut Chemii Ogólnej i Ekologicznej, Politechnika Łódzka*
12.40-12.45	**Wpływ częściowego zastąpienia margaryny maltodekstryną na jakość ciastek kruchych** dr inż. Marek Kruczek *Katedra Technologii Węglowodanów i Przetwórstwa Zbóż, Wydział Technologii Żywności, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie*

12.45-13.00 – dyskusja

13.00 – Zakończenie

Link do spotkania:

https://teams.microsoft.com/meet/3655512043066332?p=QDVUYRn84qR72NGHur
Identyfikator spotkania: 365 551 204 306 633 2
Kod dostępu: sS2zy7EN

WSTĘP

Szanowni Państwo,

Tematyka konferencji wpisuje się w jeden z najbardziej dynamicznie rozwijających się obszarów współczesnej nauki o żywieniu, w którym w ostatnich latach dokonał się znaczący postęp w rozumieniu roli lipidów w utrzymaniu zdrowia, profilaktyce chorób oraz modulowaniu procesów metabolicznych.

Wyniki najnowszych badań wskazują, że tłuszcze nie są jedynie źródłem energii i nośnikiem witamin rozpuszczalnych w tłuszczach. Coraz lepiej poznajemy ich funkcje biologiczne związane z regulacją ekspresji genów, przekazywaniem sygnałów komórkowych, funkcjonowaniem układu odpornościowego, przebiegiem procesów zapalnych, kształtowaniem mikrobioty jelitowej oraz programowaniem metabolicznym na różnych etapach życia. Jednocześnie rozwój metod analitycznych i technik badań molekularnych pozwala na coraz dokładniejszą ocenę jakości tłuszczów obecnych w żywności oraz ich rzeczywistego wpływu na zdrowie człowieka.

Program konferencji odzwierciedla najważniejsze kierunki współczesnych badań naukowych dotyczących tłuszczów. Szczególne miejsce zajmują zagadnienia związane z rolą wielonienasyconych kwasów tłuszczowych oraz ich bioaktywnych pochodnych w regulacji odpowiedzi zapalnej i odpornościowej organizmu. Jest to obszar intensywnie rozwijanych badań, mających znaczenie zarówno w prewencji chorób przewlekłych, jak i w opracowywaniu nowych strategii żywieniowych wspierających zdrowie populacji.

Konferencja podejmuje również niezwykle aktualny temat jakości zdrowotnej tłuszczów obecnych w roślinnych zamiennikach produktów mlecznych i mięsnych. Rosnące zainteresowanie dietami roślinnymi sprawia, że ocena profilu kwasów tłuszczowych tych produktów oraz ich miejsca w racjonalnym żywieniu staje się ważnym wyzwaniem dla naukowców, dietetyków i producentów żywności.

Innowacyjne rozwiązania technologiczne, takie jak modyfikowane triacyloglicerole, liposomy wykorzystywane jako nośniki składników bioaktywnych oraz strukturyzowane oleje w postaci oleożeli, pokazują, że współczesne wykorzystanie olejów roślinnych wykracza daleko poza ich tradycyjną rolę jako źródła tłuszczu i stwarza możliwość projektowania składników dostosowanych zarówno do potrzeb żywieniowych określonych grup konsumentów, jak i wymagań technologicznych konkretnych produktów.

Szczególna uwaga poświęcona zostanie znaczeniu tłuszczów we wczesnych etapach życia człowieka. Analiza profilu lipidowego mleka matki oraz preparatów do żywienia niemowląt pozwala lepiej zrozumieć rolę poszczególnych kwasów tłuszczowych w rozwoju układu nerwowego, odpornościowego i metabolicznego najmłodszych. Z kolei prezentowane wyniki badań nad żywnością funkcjonalną dostarczą aktualnej wiedzy na temat możliwości kształtowania profilu lipidowego organizmu i składu ciała u osób z insulinoopornością oraz zaburzeniami lipidowymi.

Po raz drugi ważne miejsce w programie zajmuje Sesja Młodych Naukowców, będąca przestrzenią prezentacji osiągnięć badawczych, wymiany doświadczeń oraz

budowania współpracy. Wierzymy, że aktywny udział młodego pokolenia badaczy przyczynia się do dalszego rozwoju nauk o żywieniu i wzmacnia potencjał środowiska naukowego.

Mamy nadzieję, że przygotowane materiały oraz prezentowane podczas konferencji wyniki badań będą stanowiły inspirację do dalszych dyskusji naukowych, sprzyjały krytycznej ocenie dostępnych dowodów oraz pozwolą oddzielić fakty od fikcji w obszarze wiedzy dotyczącej tłuszczów w żywieniu człowieka.

Życzymy Państwu inspirujących obrad, owocnej wymiany poglądów oraz wielu cennych doświadczeń naukowych i zawodowych.

W imieniu Zarządu Głównego Polskiego Towarzystwa Nauk Żywieniowych
Przewodnicząca Towarzystwa
dr hab. Magdalena Górnicka, prof. SGGW

Dr hab. Joanna Gdula-Argasińska, prof. UJ
Katedra Farmakobiologii, Collegium Medicum,
Uniwersytet Jagielloński, Kraków

METABOLIZM I ODPORNOŚĆ – WIELONIENASYCONE KWASY TŁUSZCZOWE I ICH POCHODNE W REGULACJI ODPOWIEDZI ZAPALNEJ

Streszczenie

Wielonienasycone kwasy tłuszczowe (polyunsaturated fatty acids, PUFA) pełnią fundamentalną rolę w prawidłowym funkcjonowaniu organizmu i utrzymaniu homeostazy. Wśród PUFA wyróżnia się kwasy tłuszczowe (KT) szeregu n-3 i n-6, różniące się położeniem wiązania podwójnego. W tkankach ssaków reakcje desaturacji i elongacji kwasów tłuszczowych zachodzą w sposób wysoce ograniczony, a procesy te wymagają dostarczenia wraz z dietą prekursorowych wielonienasyconych KT pochodzenia roślinnego, których synteza *de novo* w organizmie człowieka nie jest możliwa. Niezbędne nienasycone KT (NNKT, EFA, *Essential Fatty Acids*) to kwas linolowy (LA, 18:2 n-6), z którego powstają odpowiednio kwas γ-linolenowy (GLA, 18:3 n-6), dihomo-γ-linolenowy (DGLA, 20:3 n-6) oraz arachidonowy (AA, 20:4 n-6), jak również kwas α-linolenowy (ALA, 18:3 n-3), prekursor kwasu eikozapentaenowego (EPA, 20:5 n-3) i dokozaheksaenowego (DHA, 22:6 n-3).

W typowej dla krajów wysokorozwiniętych diecie zachodniej (*Western diet*) dominują kwasy tłuszczowe nasycone oraz PUFA szeregu n-6, w związku z czym powszechnie odnotowuje się relatywny niedobór kwasów n-3. Skutkuje to zachwianiem równowagi i nadmiernym uwalnianiem prozapalnych metabolitów, głównie pochodnych kwasu arachidonowego. Może stanowić to czynnik ryzyka rozwoju schorzeń cywilizacyjnych, w tym przewlekłych chorób zapalnych, sercowo-naczyniowych i metabolicznych [1, 2].

Współczesne doniesienia wskazują jednoznacznie, że KT n-3 i ich pochodne są niezbędne do prawidłowego wzrostu i rozwoju, wykazują działanie immunomodulujące, przeciwzapalne, przeciwmiażdżycowe oraz pro-resolving (wygaszające zapalenie) [1–3]. Opisano również potencjalne działanie przeciwnowotworowe, co wymaga dalszej weryfikacji. Kwasy n-3 (pochodzące m.in. z olejów rybnych i alg), konkurując z KT n-6 o wbudowywanie w pozycję *sn-2* fosfolipidów błonowych oraz o centra aktywne enzymów szlaku kaskady kwasu arachidonowego, hamują metabolizm AA. Prowadzi to do obniżenia syntezy prozapalnych eikozanoidów, takich jak prostaglandyny serii 2 czy leukotrieny serii 4. Ponadto EPA, stanowiąc alternatywny substrat dla cyklooksygenazy, prowadzi do generowania prostanoidów serii 3 o znikomym potencjale prozapalnym, ograniczając powstawanie pochodnych kwasu arachidonowego. Korzystne działanie kwasów tłuszczowych n-3 wiąże się również z właściwościami przeciwzapalnymi ich utlenionych pochodnych, dlatego interwencje żywieniowe wzbogacone w KT n-3 wykazują udokumentowane działanie protekcyjne i terapeutyczne [1, 2].

Metabolizm wielonienasyconych kwasów tłuszczowych prowadzi do biosyntezy mediatorów lipidowych o zróżnicowanym profilu biologicznym. Mediatory te – w tym eikozanoidy, endokannabinoidy oraz izoprostany – pełnią funkcję kluczowych cząsteczek sygnałowych, regulujących homeostazę oraz dynamikę odczynu zapalnego. Powstają na drodze przemian enzymatycznych z udziałem cyklooksygenaz (COX-1 i COX-2), lipooksygenaz (5-LOX, 12-LOX, 15-LOX) oraz układu cytochromu P450 (CYP). Z kolei izoprostany (np. 8-isoPGF2alpha) powstają w mechanizmie nieenzymatycznej, wolnorodnikowej peroksydacji lipidów i stanowią czuły, uznany biomarker stresu oksydacyjnego [2, 3].

W każdym organizmie nieustannie zachodzą procesy warunkujące utrzymanie homeostazy i adaptację do bodźców środowiskowych. Jednym z nich jest stan zapalny, stanowiący pierwotnie fizjologiczną odpowiedź obronną na czynniki uszkadzające. Przedmiotem intensywnych badań współczesnej immunologii i biochemii są molekularne mechanizmy działania mediatorów lipidowych oraz ich rola w immunometabolicznym przeprogramowaniu komórek efektorowych. Eikozanoidy, dzięki strukturalnej różnorodności oraz obecności swoistych receptorów błonowych (przede wszystkim sprzężonych z białkami G – GPCR), determinują kinetykę procesu zapalnego, wykazując aktywność zarówno inicjującą i nasilającą reakcję, jak i uczestnicząc w jej terminacji.

Biosynteza mediatorów rozpoczyna się od działania zależnej od jonów wapnia cytozolowej fosfolipazy A2 (cPLA2), uwalniającej kwas arachidonowy i inne PUFA z pozycji *sn-2* fosfolipidów błonowych. Do aktywacji cPLA2 dochodzi pod wpływem mediatorów stanu zapalnego, cytokin, czynników wzrostu, kaskad kinaz białkowych (PKC, MAPK) czy kompleksów immunologicznych. Choć eikozanoidy są niezbędne do zainicjowania skutecznej odpowiedzi obronnej, ich przedłużona i nadmierna synteza prowadzi do przejścia ostrej reakcji w fazę przewlekłą (*chronic unresolved inflammation*), co czyni enzymy ich biosyntezy klasycznym celem farmakoterapii [1, 2].

Zgodnie z aktualnym paradygmatem, wygaszanie stanu zapalnego (*resolution of inflammation*) nie jest procesem biernym, polegającym jedynie na rozpadzie mediatorów prozapalnych, lecz aktywnym, ściśle skoordynowanym programem biochemicznym [3, 4]. Oprócz eikozanoidów wywodzących się z AA, kluczową rolę w tym procesie odgrywają wyspecjalizowane mediatory pro-resolving (SPM, *Specialized Pro-resolving Mediators*). Z kwasu EPA powstają rezolwiny serii E, natomiast z DHA syntetyzowane są rezolwiny serii D, (neuro)protektyny oraz marezyny (jak również analogiczne mediatory z n-3 DPA). Działając za pośrednictwem dedykowanych receptorów GPCR (m.in. ChemR23/ERV1, GPR32/DRV1, ALX/FPR2 czy GPR37), SPM hamują dalszy napływ neutrofilów, stymulują eferocytozę oraz przyspieszają regenerację uszkodzonych tkanek [3, 4]. Zawartość EPA, DHA i AA w błonach komórek może decydować o przejściu z fazy indukcji do fazy aktywnej rezolucji zapalenia.

Profil kwasów tłuszczowych w fosfolipidach błon komórkowych zależy bezpośrednio od podaży dietetycznej oraz procesów metabolicznych danej komórki. Zmiany w składzie KT modulują płynność dwuwarstwy lipidowej,

organizację tratw lipidowych oraz właściwości morfologiczne komórek, wpływając bezpośrednio na transdukcję sygnałów, zapalenie oraz regulację ekspresji genów. Niezrównoważona dieta i zaburzenia metabolizmu lipidów stanowią podłoże wielu chorób cywilizacyjnych, w tym otyłości, cukrzycy typu 2, schorzeń sercowo-naczyniowych czy nowotworów [1, 2, 5].

Eksperymenty własne przeprowadzone na modelach komórkowych *in vitro* (m.in. HepG2, A549, HUVEC oraz RAW 264.7) aktywowanych lipopolisacharydem (LPS), benzo[a]pirenem (BaP) lub innymi wielopierścieniowymi węglowodorami aromatycznymi (WWA), potwierdziły wyraźną rolę protekcyjną EPA i DHA oraz ich bioaktywnych pochodnych [6–9]. Kwasy n-3 oraz wybrane SPM (marezyny, protektyna D1, rezolwina D1) indukowały represję COX-2 na poziomie mRNA oraz białka, a także obniżały ekspresję receptora prostanoidowego FP [6, 7]. Dodatkowo, obserwowano istotne zahamowanie generowania biomarkerów stresu oksydacyjnego, w tym 8-isoPGF2alpha, w komórkach nabłonkowych płuc A549 oraz komórkach śródbłonka naczyń HUVEC [6, 7, 9], jak również korzystny wpływ suplementacji EPA w modulacji procesów zapalnych w modelach komórek tkanki tłuszczowej [8].

Równolegle wykazano korzystny wpływ suplementacji EPA i DHA na regulację szlaków sygnałowych w makrofagach RAW 264.7 poddanych działaniu LPS i BaP, wskazując na nowy mechanizm obronny modulowany przez układ endokannabinoidowy (*endocannabinoidome*) [10–12]. Obecność bioaktywnych acyloetanoloamidów kwasów tłuszczowych – dokozaheksaenoiloetanoloamidu (DHA-EA/synaptamid) oraz nerwonoiloetanoloamidu – w połączeniu z modulacją ekspresji białek COX-2 i receptora CB2, wskazuje na istotny potencjał tych cząsteczek jako endogennych agonistów przeciwzapalnych [10–12].

Kwasy tłuszczowe i ich metabolity, działając wielokierunkowo – zarówno poprzez receptory błonowe, jak i jako endogenne ligandy dla receptorów jądrowych PPAR oraz inhibitory szlaku prozapalnego NF-κB, stanowią kluczowe narzędzia nutraceutyczne w precyzyjnej regulacji odpowiedzi immunologicznej [1, 2]. Aktywacja endogennych mechanizmów wygaszania zapalenia i poszukiwanie metabolicznie stabilnych analogów SPM oraz modulatorów receptorów pro-resolving stanowi obecnie jeden z najbardziej obiecujących kierunków nowoczesnej farmakoterapii chorób o podłożu przewlekłego zapalenia [3, 4].

Piśmiennictwo

1. Calder P.C. (2017). Omega-3 fatty acids and inflammatory processes: from molecules to man. *Biochemical Society Trans*actions, 45(5), 1105-1115.
2. Dyall S.C., Balas L, Bazan NG., et al. (2022). Polyunsaturated fatty acids and their oxidation products in health and disease. *Progress in Lipid Research*, 86, 101165.
3. Chiang N., Serhan C.N. (2020). Specialized pro-resolving mediator network: an update on production and actions. *Essays in Biochemistry*, 64(4), 443-462.

4. Fredman G., Serhan CN. (2024). Specialized pro-resolving mediators in vascular inflammation and atherosclerotic cardiovascular disease. *Nature Reviews Cardiology*, 21(11), 808-823.
5. Cristino L., Bisogno T., Di Marzo V. (2020). Cannabinoids and the expanded endocannabinoid system in neurological disorders. *Nature Reviews Neurology*, 16(1), 9-29.
6. Gdula-Argasińska J., Czepiel J., Woźniakiewicz A., et al. (2015). n-3 fatty acids as resolvents of inflammation in the A549 cells. *Pharmacological Reports*, 67(4), 610-615.
7. Gdula-Argasińska J., Czepiel J., Totoń-Żurańska J., et al. (2015). Docosahexaenoic acid regulates gene expression in HUVEC cells treated with polycyclic aromatic hydrocarbons. *Toxicology Letters*, 236(2), 75-81.
8. Zając-Grabiec A., Bartusek K., Sroczyńska K., Librowski T., Gdula-Argasińska J. (2021). Effect of eicosapentaenoic acid supplementation on murine preadipocytes 3T3-L1 cells activated with lipopolysaccharide and/or tumor necrosis factor-α. *Life*, 11(9), 977.
9. Sroczyńska K., Totoń-Żurańska J., Czepiel J., Zając-Grabiec A., Jurczyszyn A., Wołkow P., Librowski T., Gdula-Argasińska J. (2022). Therapeutic role of eicosapentaenoic and arachidonic acid in benzo(a)pyrene-induced toxicity in HUVEC endothelial cells. *Life Sciences*, 293, 120345.
10. Gdula-Argasińska J., Bystrowska B. (2016). Docosahexaenoic acid attenuates in endocannabinoid synthesis in RAW 264.7 macrophages activated with benzo(a)pyrene and lipopolysaccharide. *Toxicology Letters*, 258, S93.
11. Vari F., Serra I, Friuli M et al. (2025). Pharmacological potential of endocannabinoid and endocannabinoid-like compounds in protecting intestinal structure and metabolism under high-fat conditions. *Frontiers in Pharmacology*, 16, 1567543.
12. Chiurchiù V., Leuti A., Maccarrone M. (2018). Bioactive Lipids and Chronic Inflammation: Managing the Fire Within. *Frontiers in Immunology*, 9, 38.

Prof. dr hab. n. med. i n. o zdr. Hanna Mojska*
Mgr inż. Edyta Jasińska-Melon
Mgr inż. Bogumiła Krygier
Zakład Żywienia i Wartości Odżywczej Żywności,
Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego PZH-PIB, Warszawa
*Polskie Towarzystwo Nauk Żywieniowych, Oddział Warszawski

CHARAKTERYSTYKA I OCENA JAKOŚCI ZDROWOTNEJ FRAKCJI TŁUSZCZOWEJ ROŚLINNYCH ZAMIENNIKÓW PRODUKTÓW MLECZNYCH I MIĘSNYCH

Wprowadzenie.

Tłuszcz jest podstawowym składnikiem odżywczym, niezbędnym dla prawidłowego rozwoju i zachowania zdrowia. Pod względem budowy chemicznej stanowi on mieszaninę różnych frakcji lipidowych. Największą z nich, bez względu na źródło (zwierzęce vs. roślinne), stanowią triglicerydy zbudowane z jednej cząsteczki glicerolu i trzech reszt kwasów tłuszczowych (Normy żywienia, 2024). Należy zaznaczyć, że kwasy tłuszczowe, w zależności od długości łańcucha węglowego i stopnia nienasycenia, pełnią szereg ważnych funkcji w ustroju, są m.in. źródłem energii, prekursorami hormonów tkankowych prostaglandyn i eikozanoidów, a także pełnią funkcje budulcowe czy stabilizacyjne. Tłuszcz zwierzęcy charakteryzuje się większym udziałem nasyconych kwasów tłuszczowych w cząsteczce w porównaniu do tłuszczów roślinnych, w których dominują kwasy jedno- i wielonienasycone. Warto podkreślić, że tłuszcz pochodzący od różnych gatunków zwierząt, podobnie jak i tłuszcz pozyskiwany z różnych źródeł roślinnych, różnią się pomiędzy sobą nie tylko profilem kwasów tłuszczowych, ale przede wszystkim ich charakterystycznym rozmieszczeniem w cząsteczce triglicerydu (pozycje sn-1, sn-2 i sn-3). Zatem nie tylko rodzaj kwasów tłuszczowych, ale również miejsce jego wiązania w cząsteczce glicerolu determinuje działanie danego rodzaju tłuszczu.

W ostatnich latach obserwuje się dynamiczny rozwój rynku roślinnych zamienników produktów mlecznych i mięsnych, przede wszystkim napojów roślinnych. Szeroka gama i różnorodność tych ostatnich sprawia, że są one chętnie wybierane przez konsumentów i oceniane jako bardziej korzystne dla zdrowia i proekologiczne. Wśród czynników wpływających na spożywanie napojów roślinnych konsumenci wymieniają nie tylko kwestie zdrowotne, w tym m.in. nietolerancja laktozy czy alergie na białka mleka przeżuwaczy, i religijne, ale również kwestie związane z ekologią (Kukuła M., 2021). Należy jednocześnie podkreślić, że skład i sposób wytwarzania roślinnych zamienników produktów mlecznych i mięsnych wskazuje, że zgodnie z klasyfikacją NOVA (Monteiro C.A. i wsp., 2025) produkty te należy zaliczyć do żywności ultraprzetworzonej (UPF, *ultra processed foods*).

Celem badań była charakterystyka frakcji tłuszczowej roślinnych zamienników produktów mlecznych i mięsnych, ocena zawartości tłuszczu i kwasów

tłuszczowych w porównaniu do produktów tradycyjnych oraz ocena jakości zdrowotnej tłuszczu obecnego w ww. produktach.

Materiał

Materiał do badań stanowiło 96 próbek roślinnych zamienników produktów mlecznych i mięsnych, w tym:

- 59 próbek napojów roślinnych bezsmakowych: owsiane (n = 14), migdałowe (n = 11), kokosowe (n = 10), orzechowe (n = 9), sojowe (n = 8) i ryżowe (n = 7), pochodzące od 13 producentów;
- 25 próbek roślinnych zamienników serów podpuszczkowych, pochodzące od 9 producentów;
- 12 próbek roślinnych zamienników burgerów (vege burgery), pochodzące od 10 producentów;

oraz 7 próbek mleka krowiego o zawartości tłuszczu od 3,2% do 3,8%, pochodzące od 4 producentów.

Próbki do badań zakupiono w okresie od maja 2024 r. do listopada 2025 r. w sklepach stacjonarnych (dyskonty, supermarkety, hipermarkety, lokalne sklepy z żywnością wegańską/wegetariańską) na terenie Warszawy oraz w sklepach internetowych. Kryterium włączenia produktów do badań było oznakowanie na etykiecie produktu zgodne z obowiązującymi przepisami (Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) Nr 1169/2011 z dnia 25 października 2011 r.) oraz termin przydatności do spożycia nie krótszy niż 30 dni w przypadku mleka i roślinnych zamienników produktów mlecznych i 14 dni w przypadku vege burgerów. Jedną próbkę każdego produktu stanowiły 2 opakowania handlowe produktu o tej samej nazwie i tego samego producenta, pochodzące z dwóch różnych partii produkcyjnych.

Do porównania wyników badań analitycznych zawartości tłuszczu i kwasów tłuszczowych w roślinnych zamiennikach serów podpuszczkowych i vege burgerach z produktami tradycyjnymi, wykorzystano dane o zawartości tłuszczu w 50 próbkach serów podpuszczkowych zakupionych i przebadanych na potrzeby prowadzenia *Bazy zawartości izomerów trans kwasów tłuszczowych w środkach spożywczych* (*e*-Baza TFA) oraz dane o zawartości kwasów tłuszczowych w serach podpuszczkowych i w mięsie zwierząt rzeźnych według *Tabel składu i wartości odżywczej żywności* (Kunachowicz H. i wsp., 2020).

Metody

Oznaczenie zawartości tłuszczu i kwasów tłuszczowych

Zawartość tłuszczu w próbkach produktów spożywczych oznaczono metodą ekstrakcyjno-wagową (metoda Soxhleta) z wykorzystaniem aparatu do ekstrakcji z przystawką do wstępnej hydrolizy próbki zgodnie z wcześniej opisaną metodyką (Jasińska-Melon E. i wsp. 2022). Wyniki przedstawiono w g/100 g. Analizę składu kwasów tłuszczowych w tłuszczu wyekstrahowanym z próbek produktów spożywczych wykonano metodą chromatografii gazowej sprzężonej ze spektrometrią mas (GC/MS) - Mass Spectrometr Detector, MSD, firmy Hewlett –

Packard typu 6890 z MSD 5972A oraz typu 7890A z 5975C Inert MSD (Jasińska-Melon E. i wsp., 2022). Wyniki przedstawiono jako procenty wagowe wszystkich oznaczonych kwasów tłuszczowych o długości łańcucha od 8 do 24 atomów węgla (% wt/wt).

Obydwie metody posiadają akredytację Polskiego Centrum Akredytacji (AB 509).

Ocena jakości zdrowotnej tłuszczu

Ocenę jakości zdrowotnej tłuszczu badanych próbek roślinnych zamienników produktów mlecznych i mięsnych przeprowadzono poprzez obliczenie następujących wskaźników jakości tłuszczu (Chen J.; Liu H. 2020): 1/ Wskaźnik stopnia nienasycenia (Unsaturation Index, UI); 2/ Wskaźnik zdrowych tłuszczów / zdrowego tłuszczu (Healthy Fatty Index, HFI); 3/ Stosunek kwasu linolowego (C18:2 n-6, Linoleic Acid, LA) do kwasu α-linolenowego (C18:3 n-3, α-Linolenic Acid, ALA) (LA/ALA ratio), 4/ Stosunek działania hipocholesterolemicznego do działania hipercholesterolemicznego (Hypocholesterolemic/Hypercholesterolemic Ratio, HH); 5/ Wskaźnik aterogenności (Index of Atherogenicity, IA) oraz 6/ Wskaźnik trombogenności (Index of Thrombogenicity, IT).

Wyniki

Charakterystyka frakcji tłuszczowej roślinnych zamienników produktów mlecznych i mięsnych

Zgodnie z informacją podaną na etykietach napojów roślinnych, wszystkie napoje owsiane (n = 14) i wszystkie napoje ryżowe (n = 7) zawierały dodatek olejów roślinnych. W większości (90%) napojów był to olej słonecznikowy, w pozostałych olej rzepakowy i olej lniany. W pozostałych napojach roślinnych źródłem tłuszczu był surowiec wykorzystany do wytworzenia napoju. W przypadku roślinnych zamienników serów podpuszczkowych w składzie 92% występował olej kokosowy, w tym w 15 z ogółem 25 badanych produktów (60%) na etykietach produktów podano informację o obecności oleju kokosowego w ilości ponad 20%. W tej grupie 11 produktów zawierało dodatkowo „ekstrakt z oliwy". W składzie kolejnych 8/25 produktów również występował olej kokosowy, jednak nie określono jego procentowego udziału w produkcie. Jedynie dwa roślinne zamienniki serów podpuszczkowych nie zawierały oleju kokosowego. W składzie tych produktów wymieniono mąkę sezamową i nasiona słonecznika w ilości >90%. W grupie 12 roślinnych burgerów, siedem (około 60%) zawierało oleje roślinne inne niż tropikalne, w kolejnych 4 występował olej kokosowy, a w jednym tłuszcz shea.

W tabeli 1 przedstawiono średnią, minimalną i maksymalną zawartość tłuszczu (g/100 g produktu) oraz sum kwasów tłuszczowych (% wt/wt) w roślinnych zamiennikach produktów mlecznych i mięsnych w porównaniu do produktów mlecznych (mleko krowie oraz sery podpuszczkowe z mleka krowiego) i mięsnych (mięso zwierząt rzeźnych).

Tabela 1. Porównanie średniej, minimalnej i maksymalnej zawartości tłuszczu (g/100 g produktu) oraz sum kwasów tłuszczowych (% wt/wt) pomiędzy roślinnymi zamiennikami produktów mlecznych i mięsnych a produktami mlecznymi (mleko krowie oraz sery podpuszczkowe z mleka krowiego) i mięsnymi (mięso zwierząt rzeźnych).

Product	**Liczba produktów**	**Tłuszcz** (g/100 mL lub 100 g)	**Σ SFA** [% wt/wt]	**Σ *cis*-MUFA** [% wt/wt]	**Σ *cis*-PUFA** [% wt/wt]
		x ± SD (min - max)			
Napoje roślinne					
Napój owsiany	14	2,1 ± 0,9 (0,8 – 3,2)	14,61 ± 3,87 (9,35 – 23,45)	47,21 ± 18,09 (30,53 – 80,70)	37,82 ± 15,99 (9,92 – 55,68)
Napój migdałowy	11	2,0 ± 1,3 (1,1 – 4,9)	10,31 ± 1,29 (8,55 – 12,95)	70,03 ± 5,37 (59,96 – 76,96)	19,09 ± 5,72 (11,34 – 31,46)
Napój kokosowy	10	1,6 ± 0,6 (0,8 – 2,5)	80,52 ± 16,16 (43,87 – 93,75)	10,43 ± 4,43 (5,71 – 19,00)	9,02 ± 12,48 (0,54 – 39,30)
Napój orzechowy	9	2,1 ± 0,7 (1,1 – 3,0)	13,72 ± 4,71 (7,80 – 21,05)	74,02 ± 10,00 (58,08 – 83,33)	12,20 ± 7,75 (1,65 – 26,45)
Napój sojowy	8	2,1 ± 0,4 (1,6 – 2,9)	17,40 ± 1,35 (15,03 – 19,29)	25,47 ± 2,96 (21,59 – 31,26)	57,05 ± 3,12 (52,64 – 63,36)
Napój ryżowy	7	1,1 ± 0,2 (0,9 – 1,5)	13,48 ± 0,84 (12,42 – 15,09)	52,95 ± 22,57 (30,20 – 78,98)	33,48 ± 22,31 (7,50 – 54,56)
Mleko krowie	7	3,4 ± 0,3 (3,1 - 3,8)	69,41 ± 1,39 (68,46 - 72,51)	26,63 ± 1,06 (24,69 - 27,58)	2,14 ± 0,52 (1,73 - 3,29)
Roślinne zamienniki serów podpuszczkowych					
Roślinny zamiennik sera podpuszczkowego o zawartości oleju kokosowego >20%	15	22,9 ± 1,3 (20,4 - 25,4)	85,99 ± 1,89 (82,13 – 88,37)	11,70 ± 1,61 (9,86 – 15,29)	2,29 ± 0,34 (1,74 – 2,90)
Roślinny zamiennik sera podpuszczkowego o nieznanej zawartości oleju kokosowego	8	21,3 ± 3,4 (14,3 - 24,9)	79,22 ± 7,27 (67,17 – 91,05)	17,54 ± 5,77 (8,08 – 26,34)	3,22 ± 1,68 (0,77 – 6,47)
Roślinny zamiennik sera podpuszczkowego o zawartości mąki sezamowej lub nasion słonecznika >90%	2	41,3 ± 11,5 (33,2 - 49,4)	18,35 ± 0,31 (18,13 – 18,57)	43,17 ± 1,09 (42,39 – 43,94)	38,37 ± 1,23 (37,49 – 39,24)
Ser podpuszczkowy z mleka krowiego	50	26,9 ± 4,3[a] (14,6 - 36,2)	60,54 ± 1,72[b] (59,68 - 64,53)	31,30 ± 2,93[b] (23,91 - 34,70)	2,78 ± 0,11[b] (2,70 - 2,97)
Vege burgery					
Roślinny burger z dodatkiem tłuszczu kokosowego	4	14,1 ± 3,5 (9,5 – 16,8)	34,06 ± 9,81 (25,42 – 48,17)	38,91 ± 14,86 (22,32 – 53,83)	26,99 ± 8,52 (19,85 – 38,03)
Roślinny burger z dodatkiem tłuszczu shea[c]	1	10,6 ± 0,1 (10,5 – 10,6)	29,31 ± 0,62 (28,9 – 30,12)	49,99 ± 0,8 (49,45 – 51,02)	20,66 ± 0,38 (20,32 – 21,08)
Roślinny burger z dodatkiem olejów innych niż tłuszcze tropikalne	7	12,8 ± 5,1 (5,5 – 20,6)	13,10 ± 9,3 (4,24 – 33,52)	59,15 ± 6,5 (47,38 – 66,51)	27,71 ± 5,1 (19,06 – 36,33)
Mięso wołowe[b]	-	11,0 ± 4,3 (7,3 – 15,7)	47,88 ± 0,06 (47,81 – 47,92)	42,73 ± 0,11 (42,60 – 42,80)	3,28 ± 0,09 (3,18 – 3,37)
Mięso wieprzowe[b]	-	9,2 ± 4,9 (4,7 – 14,4)	41,05 ± 2,18 (38,84 – 43,19)	41,32 ± 4,72 (36,74 – 46,16)	9,57 ± 1,58 (8,26 – 11,32)

[a] średnia zawartość tłuszczu w próbkach serów podpuszczkowych (n=50), zakupionych i przebadanych na potrzeby prowadzenia *Bazy zawartości izomerów trans kwasów tłuszczowych w środkach spożywczych* (*e*-Bazy TFA)
[b] dane według *Tabel składu i wartości odżywczej żywności* (2020)
[c] średnia z trzech równoległych oznaczeń jednej próbki

Objaśnienia: n – liczba produktów w danym rodzaju napoju; *x* – wartość średnia; SD – odchylenie standardowe; min – minimum; max – maksimum; Σ SFA – suma nasyconych kwasów tłuszczowych (C4:0 + C6:0 + C8:0 + C10:0 + C11:0 + C12:0 + C13:0 + C14:0 + 15:0 + C16:0 + C17:0 + C18:0 + C20:0 + + C21:0 + C22:0 + C23:0 + C24:0); Σ *cis*-MUFA – suma cis-jednonienasyconych kwasów tłuszczowych (C14:1 + C15:1 + C16:1 *cis* + C17:1 + C18:1 *cis* + C20:1 + C22:1 + C24:1); Σ *cis*-PUFA – suma cis-wielonienasyconych kwasów tłuszczowych (C18:2 *n*-6 + C18:3 *n*-6 + C20:3 *n*-6 + C20:4 *n*-6 + C18:3 *n*-3 + C20:3 *n*-3 + C20:5 *n*-3 + C22:5 *n*-3 + C22:6 *n*-3+ C20:2 n-6 + C22:2 n-6)

Średnia zawartość tłuszczu w większości napojów roślinnych była zbliżona do zawartości tłuszczu w mleku krowim 2%, z wyjątkiem napojów kokosowego i ryżowego, w których była niższa, odpowiednio 1,6 i 1,1 g/100 g. W grupie roślinnych zamienników serów podpuszczkowych średnia zawartość tłuszczu była o około 4 – 5 g niższa w porównaniu do produktów tradycyjnych (26,9 g/100 g), z wyjątkiem dwóch produktów bez dodatku oleju kokosowego, w których średnia zawartość była o ponad 14 g wyższa. W przypadku vege burgerów średnia zawartość tłuszczu nieznacznie przewyższała zawartość w mięsie wołowym i wieprzowym, należy jednak zwrócić uwagę na znaczące różnice w zawartości tłuszczu w poszczególnych roślinnych burgerach, szczególnie w grupie zawierającej oleje inne niż tropikalne. Wynikało to ze zdecydowanie bardziej zróżnicowanego składu vege burgerów i obecności składników innych niż dodane tłuszcze roślinne, które mogły również być źródłem tłuszczu w tych produktach.

Rodzaj tłuszczu obecnego w roślinnych zamiennikach produktów mlecznych i mięsnych determinował zawartość kwasów tłuszczowych w ocenianych grupach produktów. Najwyższą średnią zawartością nasyconych kwasów tłuszczowych (SFA) charakteryzowały się produkty zawierające olej kokosowy. W napojach kokosowych SFA stanowiły 80,52% wt/wt. Również w roślinnych zamiennikach serów podpuszczkowych najwyższą zawartością SFA charakteryzowały się produkty, które w składzie zawierały olej kokosowy (średnio 79,22% wt/wt – 85,99% wt/wt). Podobne zależności obserwowano w przypadku roślinnych burgerów. Zawartość jednonienasyconych kwasów tłuszczowych (MUFA) również zmieniała się w zależności od źródła tłuszczu. W napojach roślinnych w zależności od surowca wahała się w zakresie od 5,71% wt/wt (napój kokosowy) do 83,33% wt/wt (napój orzechowy). W roślinnych zamiennikach serów podpuszczkowych od 8,08 do 43,94% wt/wt, a w roślinnych burgerach od 22,32 do 66,51% wt/wt. W ocenianych rodzajach produktów również w szerokim zakresie zmieniała się zawartość wielonienasyconych kwasów tłuszczowych (PUFA): od 0,54 do 63,36% wt/wt, odpowiednio w napojach kokosowych i sojowych. Od 0,77 do 39,24% wt/wt w roślinnych zamiennikach serów podpuszczkowych oraz od 19,06 do 38,03% wt/wt w roślinnych burgerach. W roślinnych zamiennikach produktów mlecznych i mięsnych stwierdzono ponadto znacznie uboższy profil kwasów tłuszczowych w porównaniu do produktów tradycyjnych – przede wszystkim brak krótkołańcuchowych nasyconych kwasów tłuszczowych: masłowego, kapronowego i kaprylowego oraz sprzężonych dienów kwasu linolowego (CLA), charakterystycznych dla tłuszczu mleka krowiego. Z kolei w produktach, w składzie których był obecny olej kokosowy i w napojach kokosowych dominowały uznawane za aterogenne kwasy laurynowy (12:0), mirystynowy (14:0) i palmitynowy (16:0).

Ocena jakości zdrowotnej tłuszczu roślinnych zamienników produktów mlecznych i mięsnych

Analizując wskaźniki jakości tłuszczu, ocenianych produktów roślinnych, stwierdzono, że we wszystkich napojach roślinnych oraz w wegańskich

zamiennikach serów obserwowany był bardzo niekorzystny, wysoki stosunek LA/ALA, w zakresie od 9:1 (napoje sojowe) do 3022:1 (napój migdałowy). W odniesieniu do wskaźnika aterogenności (IA), najniższą średnią wartość tego wskaźnika stwierdzono w przypadku napojów owsianych, migdałowych, orzechowych, sojowych i ryżowych (zakres: 0,09-0,15) oraz zamienników serów bez oleju kokosowego (0,17). W napojach kokosowych średnia wartość IA była kilkadziesiąt razy większa (11,41). W przypadku wegańskich zamienników serów, w składzie których występował olej kokosowy o znanej zawartości (> 20%) i nieznanej zawartości, wartość wskaźnika IA wynosiła odpowiednio 10,36 oraz 7,51. W przypadku roślinnych burgerów nie stwierdzono tak znaczących różnic. W produktach bez oleju kokosowego wartość tego wskaźnika wynosiła średnio 0,18, a w produktach zawierających olej kokosowy była niewiele ponad czterokrotnie wyższa (0,80). Wynikało to, jak wspomniano wcześniej, z większej różnorodności składu burgerów roślinnych.

Podsumowanie

Roślinne zamienniki produktów mlecznych i mięsnych charakteryzują się zróżnicowaną zawartością i jakością zdrowotną frakcji tłuszczowej. W napojach roślinnych profil kwasów tłuszczowych jest bardziej zróżnicowany w porównaniu do roślinnych zamienników serów podpuszczkowych i roślinnych burgerów. Wynika to ze stosowania różnych surowców, w tym zbóż, roślin strączkowych i orzechów, do wytwarzania napojów roślinnych. Zwraca jednak uwagę wysoki niekorzystny stosunek kwasu linolowego z rodziny n-6 do α-linolenowego z rodziny n-3. W przypadku roślinnych zamienników serów podpuszczkowych ponad 90% przebadanych produktów zawierało w swoim składzie olej kokosowy, co skutkowało wysoką niekorzystną zawartością nasyconych kwasów tłuszczowych. Bardziej zróżnicowany skład był obserwowany w roślinnych burgerach, chociaż w tych produktach również dominował olej kokosowy, co skutkowało wysoką zawartością SFA. Warto zaznaczyć, że wśród badanych roślinnych zamienników serów podpuszczkowych i burgerów roślinnych występowały produkty, których skład można uznać za bardziej korzystny z punktu widzenia żywieniowego. Wskazuje to jak ważne jest czytanie etykiet i dobór właściwych produktów, szczególnie przez osoby stosujące dietę wegańską/ wegetariańską. Należy jednak podkreślić, że wyżej wymienione produkty, włączając również napoje roślinne, mogą stanowić pewnego rodzaju urozmaicenie diety, nie powinny jednak być traktowane jako alternatywa dla produktów mlecznych i mięsnych. Dotyczy to w szczególności dzieci, młodzieży, kobiet ciężarnych i karmiących piersią. Zaznaczyć należy, że roślinne zamienniki produktów mlecznych i mięsnych są żywnością ultraprzetworzoną (UPF), a spożycie tego rodzaju żywności, jak wykazują liczne badania, niesie ze sobą ryzyko dla zdrowia związane z rozwojem chorób żywieniowozależnych, w tym nadwagi i otyłości, chorób kardiometabolicznych, nowotworów i chorób neuropsychicznych (Monteiro C.A. i wsp., 2025). Dlatego również dieta wegańska/wegetariańska

powinna bazować na produktach przygotowywanych ex *tempore*, najlepiej w warunkach domowych.

Piśmiennictwo:

1. Normy żywienia dla populacji Polski (Red.) dr n. roln. Ewa Rychlik, dr n. roln. Katarzyna Stoś, dr n. roln. Agnieszka Woźniak, dr hab. n. farm. Hanna Mojska. Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego PZH – Państwowy Instytut Badawczy, 2024, ISBN: 978-83-65870-78-0 (wersja elektroniczna)
2. Kukuła, M. (2021). Czynniki wpływające na wzrost spożycia zamienników nabiału. W: A. Filipiak-Florkiewicz, B. Krochmal-Marczak, M. Kukuła (Red.), Konsument i rynek produktów pochodzenia zwierzęcego (s. 45–58). Wydawnictwo Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej im. Stanisława Pigonia w Krośnie/Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie.
3. Monteiro CA, Louzada ML, Steele-Martinez E, et al. Ultra-processed foods and human health: the main thesis and the evidence. Lancet. 2025 Dec 6;406(10520):2667-2684. doi: 10.1016/S0140-6736(25)01565-X.
4. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) Nr 1169/2011 z dnia 25 października 2011 r. w sprawie przekazywania konsumentom informacji na temat żywności
5. Baza zawartości izomerów trans kwasów tłuszczowych w środkach spożywczych (*e*-Baza TFA): https://izomery-public.pzh.gov.pl/pl
6. Kunachowicz H., Przygoda B., Nadolna I., Iwanow K. Tabele składu i wartości odżywczej żywności. Wyd. PZWL, Warszawa 2020.
7. Jasińska-Melon, E.; Mojska, H.; Przygoda, B.; Stoś, K. Trans Fatty Acids Content in Whole-Day Diets Intended for Pregnant and Breastfeeding Women in Gynaecological and Obstetric Wards: Findings from the Study under the “Mum’s Diet” Pilot Program in Poland. Nutrients 2022, 14, 3360. https://doi.org/10.3390/nu14163360
8. Chen, J.; Liu, H. Nutritional Indices for Assessing Fatty Acids: A Mini-Review, Int. J. Mol. Sci. 2020, 21, 5695; doi:10.3390/ijms21165695

Dr hab. Dominik Kmiecik, prof. UPP
Pracownia Chemii i Technologii Tłuszczów
Wydział Nauk o Żywności i Żywieniu, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

OD OLEJU ROŚLINNEGO DO FUNKCJONALNEGO TŁUSZCZU - MODYFIKOWANE OLEJE ROŚLINNE JAKO SKŁADNIK PRODUKTÓW O PODWYŻSZONEJ WARTOŚCI ODŻYWCZEJ I KORZYSTNYM PROFILU LIPIDOWYM

Oleje roślinne są ważnym składnikiem diety, będąc nie tylko źródłem energii, lecz także nienasyconych kwasów tłuszczowych, witamin rozpuszczalnych w tłuszczach oraz związków bioaktywnych, takich jak fitosterole czy związki fenolowe. Współczesne podejście do wykorzystania olejów roślinnych w żywności coraz częściej wykracza jednak poza ich tradycyjną rolę. Poprzez modyfikację składu i struktury tłuszczów oraz kształtowanie odpowiednich właściwości fizycznych fazy tłuszczowej możliwe jest przekształcenie płynnego oleju w funkcjonalny składnik o zaprojektowanych właściwościach żywieniowych i technologicznych. Takie podejście otwiera nowe możliwości tworzenia żywności o podwyższonej wartości odżywczej i korzystnym profilu lipidowym. Dotyczy to nie tylko żywności specjalnego przeznaczenia, ale także produkcji produktów roślinnych, stanowiących alternatywę dla produktów zawierających tłuszcze zwierzęce. Przykładem takich rozwiązań mogą być modyfikowane triacyloglicerole, liposomy jako nośniki składników bioaktywnych oraz strukturyzowane oleje w postaci oleożeli.

Modyfikacja struktury triacylogliceroli

Triacyloglicerole (TAG) składają się z cząsteczki glicerolu, do której w pozycjach sn-1, sn-2 i sn-3 przyłączone są trzy reszty kwasów tłuszczowych, których rozmieszczenie nie jest obojętne fizjologicznie. Lipaza trzustkowa hydrolizuje przede wszystkim wiązania estrowe w pozycjach sn-1 i sn-3, prowadząc do uwolnienia dwóch wolnych kwasów tłuszczowych i powstania 2-monoacyloglicerolu. Kwas tłuszczowy lub inny związek obecny pierwotnie w pozycji sn-2 pozostaje więc najczęściej związany z glicerolem podczas zasadniczego etapu trawienia, co ułatwia jego włączenie do struktur micelarnych, wchłanianie przez enterocyty i ponowną resyntezę TAG. Z tego względu pozycja sn-2 może być traktowana jako uprzywilejowane miejsce lokalizacji wybranych kwasów tłuszczowych (Innis, 2011).

Najlepiej udokumentowanym przykładem znaczenia budowy triacylogliceroli jest tłuszcz mleka kobiecego. Około 70% obecnego w nim kwasu palmitynowego jest związane w pozycji sn-2, natomiast pozycje sn-1 i sn-3 są częściej zajmowane przez kwasy oleinowy i linolowy, przy czym kwas oleinowy odgrywa główną rolę. Układ ten sprzyja zachowaniu kwasu palmitynowego w postaci 2-monopalmitynianu w czasie trawienia i lepszemu jego wykorzystaniu w organizmach niemowląt. Głównym naturalnym TAG w mleku kobiecym jest OPO (1,3-dioleoilo-2-palmitoiloglicerol) (Giuffrida et al., 2019).

Przykładem strukturyzowanego lipidu, który wykorzystuje się w mieszankach mlecznych dla niemowląt, jest przemysłowe OPO, syntetyczny analog, który otrzymuje się między innymi z tripalmitynianu poprzez wymianę kwasu palmitynowego na kwas oleinowy w pozycjach sn-1 i sn-3, stosując odpowiednie reakcje enzymatyczne lub biosyntezę z użyciem mikroorganizmów. OPO jest przykładem lipidu strukturyzowanego projektowanego w celu zbliżenia frakcji tłuszczowej mieszanek dla niemowląt do struktury TAG w mleku kobiecym. Nowsze badania obejmują również OPL, czyli 1-oleilo-2-palmitoilo-3-linoleiloglicerol, oraz mieszaniny TAG zawierające zarówno palmitynian sn-2, jak i kwasy średniołańcuchowe. Badania wskazują, że formuła zawierająca średnio- i długołańcuchowe TAG oraz palmitynian sn-2 zapewniała prawidłowy wzrost i wchłanianie lipidów u zdrowych niemowląt urodzonych o czasie. Jednocześnie wyniki badań na zwierzętach pokazują, że znaczenie może mieć nie tylko całkowita ilość palmitynianu sn-2, ale również proporcja poszczególnych TAG, między innymi OPL do OPO (Chen et al., 2025; Zhu et al., 2024; Zou et al., 2017).

Drugą grupą projektowanych lipidów są TAG typu MLM, zawierające kwasy średniołańcuchowe w pozycjach sn-1 i sn-3 oraz długołańcuchowy, często wielonienasycony kwas tłuszczowy w pozycji sn-2. Kwasy średniołańcuchowe są szybko uwalniane przez lipazy i mogą stanowić łatwo dostępne źródło energii, natomiast kwas tłuszczowy obecny w pozycji sn-2 jest zachowywany, podobnie jak wcześniej, w postaci 2-monoacyloglicerolu. Tego rodzaju struktury są interesujące w żywieniu osób z zaburzeniami trawienia i wchłaniania tłuszczu, pacjentów o zwiększonym zapotrzebowaniu energetycznym oraz osób starszych zagrożonych niedożywieniem. Klasycznym modelem są triacyloglicerole typu M-n3-M, w których kwasy EPA lub DHA wbudowane są w pozycję centralną triacyloglicerolu, a kwasy średniołańcuchowe w pozycjach zewnętrznych. Dodatkowo, podobne struktury występują także naturalnie w mleku kobiecym, poprawiając absorpcję kwasów długołańcuchowych. Projektowanie takich struktur, będących odmiennymi od struktur typowych dla olejów rybich czy pochodzących z alg, sprzyja także lepszemu ich wchłanianiu oraz lepszej ochronie przed utlenianiem, dając większe możliwości szczególnie w żywieniu niemowląt, osób starszych oraz produktach specjalnego przeznaczenia żywieniowego (Chen et al., 2025; Lopes et al., 2023; Wang et al., 2025).

Kolejnym kierunkiem modyfikacji struktury TAG jest także wykorzystanie innych związków niż kwasy tłuszczowe. Mechanizm polega na zastąpieniu kwasu tłuszczowego zlokalizowanego w pozycji sn-2 innym związkiem, np. fitosterolem. Prace prowadzone w tym kierunku mają głównie za zadanie wzmocnienie stabilności oraz poprawę rozpuszczalności i biodostępności. Problemem jest jednak brak bezpośredniej możliwości wbudowania tych związków w struktury TAG. Możliwe jest natomiast otrzymywanie estrów fitosteroli z kwasami tłuszczowymi, struktur koniugowanych oraz nośników lipidowych zawierających fitosterole (Gładkowski et al., 2022; Rudzińska et al., 2021).

Modyfikacja TAG przynosi więc inne korzyści w poszczególnych grupach konsumentów. W żywności dla niemowląt umożliwia odtworzenie

charakterystycznego układu palmitynianu sn-2 oraz potencjalne wykorzystanie np. DHA w pozycji centralnej. W żywieniu seniorów i różnych grup pacjentów może łączyć łatwo dostępne energetycznie kwasy średniołańcuchowe z kwasem długołańcuchowym. W żywności funkcjonalnej pozwala natomiast projektować nośniki o kontrolowanej biodostępności i zachowaniu metabolicznym.

Liposomy jako nośniki olejów i związków bioaktywnych

Innym kierunkiem wykorzystania lipidów w projektowaniu żywności funkcjonalnej są liposomy, czyli struktury tworzone między innymi przez fosfolipidy, które mogą pełnić funkcję nośników składników biologicznie aktywnych. Ich szczególną zaletą jest możliwość wprowadzania zarówno związków rozpuszczalnych w wodzie, jak i substancji lipofilowych, w tym witamin, karotenoidów, fitosteroli czy wielonienasyconych kwasów tłuszczowych. Zamknięcie tych składników w strukturach liposomów może chronić je przed niekorzystnymi zmianami podczas produkcji i przechowywania żywności, a jednocześnie wpływać na ich uwalnianie podczas trawienia i biodostępność. Znaczenie liposomów w żywności funkcjonalnej wynika przede wszystkim z możliwości ochrony związków niestabilnych, słabo rozpuszczalnych lub wykazujących małą biodostępność. Dotyczy to witamin, karotenoidów, związków fenolowych, peptydów, fitosteroli, olejków eterycznych oraz olejów zasobnych w wielonienasycone kwasy tłuszczowe. Przykładami są liposomy zawierające kurkuminę, resweratrol, kwercetynę, β-karoten, witaminy C i E, fitosterole, CLA oraz bioaktywne peptydy (Rudzińska et al., 2024; Shukla et al., 2017).

Ochrona olejów bogatych w EPA i DHA ma szczególne znaczenie technologiczne, ponieważ kwasy te są podatne na utlenianie, a powstające związki lotne powodują obcy, rybi zapach i smak. Zamknięcie olejów bogatych w EPA czy DHA w liposomach może ograniczać kontakt lipidów z tlenem, maskować niepożądane cechy sensoryczne i ułatwiać wprowadzanie oleju do produktów wodnych. W projektowaniu żywności dla dzieci istotna jest możliwość dostarczania DHA, witamin lipofilowych, laktoferyny lub innych białek w strukturze zabezpieczającej je zarówno w produkcie, jak i w żołądku. Liposomy mogą zachowywać znaczną część integralności w żołądku, natomiast w jelicie cienkim fosfolipazy, lipazy i sole żółciowe destabilizują dwuwarstwę. Produkty hydrolizy uczestniczą następnie w tworzeniu miceli przenoszących związki lipofilowe do powierzchni enterocytów, natomiast w żywności dla seniorów i chorych szczególnie atrakcyjne jest wykorzystanie liposomów do wzbogacania napojów, produktów mlecznych i żywności o zmodyfikowanej teksturze. Mogą one przenosić związki słabo rozpuszczalne, maskować gorzki smak peptydów oraz umożliwiać połączenie fazy wodnej z bioaktywnymi lipidami (Ajeeshkumar et al., 2021; W. Liu et al., 2020; Mankan et al., 2025).

Ograniczeniem zastosowania liposomów w żywności pozostaje jednak ich podatność na destabilizację podczas przetwarzania i przechowywania produktów, możliwość uwalniania zamkniętych składników w czasie przechowywania oraz ich oddziaływanie z matrycą produktu. Dlatego obok klasycznych liposomów

rozwijane są bardziej złożone systemy dostarczania składników bioaktywnych, wykorzystujące między innymi biopolimery oraz struktury emulsyjne. Należą do nich układy wielowarstwowe, nanoemulsje, emulsje Pickeringa, emulsje wielokrotne czy stałe nanocząstki lipidowe. Odpowiednie kształtowanie struktury i właściwości powierzchni tych układów może zwiększać ochronę zamkniętych składników przed niekorzystnymi warunkami środowiska, poprawiać ich stabilność podczas przechowywania oraz umożliwiać kontrolowanie procesu trawienia i uwalniania związków bioaktywnych (Tan & McClements, 2021).

Oleożele jako forma strukturyzacji olejów roślinnych

Oleożelacja jest procesem, który nie zmienia bezpośrednio budowy strukturalnej cząsteczek triacylogliceroli, lecz zmienia ich organizację przestrzenną. Ciekły olej zostaje unieruchomiony w trójwymiarowej sieci utworzonej przez woski, mono- i diacyloglicerole, etylocelulozę, fitosterole, γ-oryzanol lub inne substancje strukturyzujące. Dzięki temu procesowi olej bogaty w nienasycone kwasy tłuszczowe może uzyskać reologię i plastyczność charakterystyczną dla tłuszczu stałego, bez konieczności jego częściowego uwodornienia. Podstawowym zastosowaniem oleożeli jest ograniczenie udziału tłuszczów zwierzęcych, oleju palmowego i innych tłuszczów bogatych w nasycone kwasy tłuszczowe w produktach mięsnych, piekarskich, cukierniczych, mleczarskich i roślinnych analogach mięsa (Ferdaus et al., 2024; Silva et al., 2023).

Oleożele mogą odtwarzać część funkcji technologicznych tłuszczu, takich jak nadawanie twardości, smarowności, soczystości i odpowiedniego odczucia w jamie ustnej. Wynik ten zależy jednak od rodzaju oleju, oleożelatora, wielkości i morfologii kryształów oraz temperatury przetwarzania. Oleożele mogą również pełnić funkcję nośników witamin, karotenoidów, fitosteroli oraz olejów bogatych w wielonienasycone kwasy tłuszczowe n-3. Usieciowanie oleju może zmniejszać jego ruchliwość, ograniczać wypływ z produktu i modulować dostęp lipazy do fazy tłuszczowej.

W żywieniu osób starszych oleożele mogą być wykorzystane do projektowania produktów o wysokiej wartości odżywczej i energetycznej oraz pożądanych właściwościach sensorycznych, w tym odnoszących się głównie do ich tekstury. Ma to znaczenie zwłaszcza w przypadku osób o obniżonym spożyciu żywności i zwiększonym ryzyku niedostatecznej podaży energii i składników odżywczych, a także może mieć potencjalnie istotne znaczenie w przypadku dysfagii. Zastosowanie strukturyzowanych olejów roślinnych pozwala zwiększyć gęstość energetyczną produktu, a jednocześnie zastępować tłuszcze stałe bogate w nasycone kwasy tłuszczowe olejami charakteryzującymi się korzystniejszym profilem lipidowym. Dodatkową możliwością jest wykorzystanie fazy olejowej jako nośnika związków lipofilowych, takich jak witaminy rozpuszczalne w tłuszczach, karotenoidy, fitosterole czy wielonienasycone kwasy tłuszczowe, dzięki czemu oleożel może pełnić równocześnie funkcję technologiczną i żywieniową (T. Liu et al., 2024; Pinto et al., 2021).

Modyfikacja triacylogliceroli, zastosowanie liposomów oraz strukturyzacja olejów w postaci oleożeli stanowią różne, ale wzajemnie uzupełniające się możliwości kształtowania właściwości funkcjonalnych tłuszczów. Modyfikacja TAG pozwala na zmianę składu i rozmieszczenia kwasów tłuszczowych, a tym samym na projektowanie lipidów o określonych właściwościach żywieniowych. Liposomy umożliwiają ochronę i dostarczanie wrażliwych składników bioaktywnych oraz mogą wpływać na ich zaplanowane uwalnianie i biodostępność. Z kolei oleożele pozwalają nadać ciekłym olejom właściwości charakterystyczne dla tłuszczów stałych, przy jednoczesnym zachowaniu korzystnego profilu kwasów tłuszczowych. Rozwiązania te pokazują, że współczesne wykorzystanie olejów roślinnych wykracza daleko poza ich tradycyjną rolę jako źródła tłuszczu i stwarza możliwość projektowania składników dostosowanych zarówno do potrzeb żywieniowych określonych grup konsumentów, jak i wymagań technologicznych konkretnych produktów.

Piśmiennictwo:

1. Ajeeshkumar, K. K., Aneesh, P. A., Raju, N., Suseela, M., Ravishankar, C. N., & Benjakul, S. (2021). Advancements in liposome technology: Preparation techniques and applications in food, functional foods, and bioactive delivery: A review. In *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* (Vol. 20, Number 2, pp. 1280–1306). Blackwell Publishing Inc. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12725
2. Chen, X., Yang, M., Wei, W., Huang, S., Qiu, Y., Li, Z., Lan, Q., Huang, B., Wu, T., Bi, Q., Wang, X., & Zhu, H. (2025). A Novel Infant Formula with Medium- and Long-Chain Triacylglycerols and sn-2 Palmitate Supports Adequate Growth and Lipid Absorption in Healthy Term Infants. *Nutrients*, *17*(9), 1401. https://doi.org/10.3390/nu17091401
3. Ferdaus, M. J., Barman, B., Mahmud, N., & da Silva, R. C. (2024). Oleogels as a Promising Alternative to Animal Fat in Saturated Fat-Reduced Meat Products: A Review. *Gels*, *10*(2). https://doi.org/10.3390/GELS10020092
4. Giuffrida, F., Marmet, C., Tavazzi, I., Fontannaz, P., Sauser, J., Lee, L. Y., & Destaillats, F. (2019). Quantification of 1,3-olein-2-palmitin (OPO) and palmitic acid in sn-2 position of triacylglycerols in human milk by liquid chromatography coupled with mass spectrometry. *Molecules*, *24*(1), 1–12. https://doi.org/10.3390/molecules24010022
5. Gładkowski, W., Włoch, A., Pruchnik, H., Chojnacka, A., Grudniewska, A., Wysota, A., Dunal, A., Castro, D. R., & Rudzińska, M. (2022). Acylglycerols of Myristic Acid as New Candidates for Effective Stigmasterol Delivery—Design, Synthesis, and the Influence on Physicochemical Properties of Liposomes. *Molecules*, *27*(11). https://doi.org/10.3390/molecules27113406
6. Innis, S. M. (2011). Dietary Triacylglycerol Structure and Its Role in Infant Nutrition. *Advances in Nutrition*, *2*(3), 275–283. https://doi.org/10.3945/AN.111.000448
7. Liu, T., Zheng, J., Du, J., & He, G. (2024). Food Processing and Nutrition Strategies for Improving the Health of Elderly People with Dysphagia: A Review of Recent Developments. *Foods (Basel, Switzerland)*, *13*(2). https://doi.org/10.3390/FOODS13020215
8. Liu, W., Hou, Y., Jin, Y., Wang, Y., Xu, X., & Han, J. (2020). Research progress on liposomes: Application in food, digestion behavior and absorption mechanism.

Trends in Food Science and Technology, *104*(August), 177–189. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.08.012

9. Lopes, P. A., Alfaia, C. M., Pestana, J. M., & Prates, J. A. M. (2023). Structured Lipids Engineering for Health: Novel Formulations Enriched in n-3 Long-Chain Polyunsaturated Fatty Acids with Potential Nutritional Benefits. *Metabolites*, *13*(10). https://doi.org/10.3390/metabo13101060
10. Mankan, E., Karakas, C. Y., Saroglu, O., Mzoughi, M., Sagdic, O., & Karadag, A. (2025). Food-Grade Liposome-Loaded Delivery Systems: Current Trends and Future Perspectives. *Foods*, *14*(17), 1–28. https://doi.org/10.3390/foods14172978
11. Pinto, T. C., Martins, A. J., Pastrana, L., Pereira, M. C., & Cerqueira, M. A. (2021). Oleogel-Based Systems for the Delivery of Bioactive Compounds in Foods. *Gels 2021, Vol. 7, Page 86*, *7*(3), 86. https://doi.org/10.3390/GELS7030086
12. Rudzińska, M., Grudniewska, A., Chojnacka, A., Gładkowski, W., Maciejewska, G., Olejnik, A., & Kowalska, K. (2021). Distigmasterol-modified acylglycerols as new structured lipids—synthesis, identification and cytotoxicity. *Molecules*, *26*(22). https://doi.org/10.3390/molecules26226837
13. Rudzińska, M., Grygier, A., Knight, G., & Kmiecik, D. (2024). Liposomes as Carriers of Bioactive Compounds in Human Nutrition. *Foods*, *13*, 1814. https://doi.org/10.3390/foods13121814
14. Shukla, S., Haldorai, Y., Hwang, S. K., Bajpai, V. K., Huh, Y. S., & Han, Y. K. (2017). Current demands for food-approved liposome nanoparticles in food and safety sector. *Frontiers in Microbiology*, *8*(DEC), 1–14. https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02398
15. Silva, R. C. da, Ferdaus, M. J., Foguel, A., & da Silva, T. L. T. (2023). Oleogels as a Fat Substitute in Food: A Current Review. *Gels*, *9*(3). https://doi.org/10.3390/GELS9030180
16. Tan, C., & McClements, D. J. (2021). Application of advanced emulsion technology in the food industry: A review and critical evaluation. *Foods*, *10*(4). https://doi.org/10.3390/foods10040812
17. Wang, Y., Wei, W., Wang, Y., Yu, L., Xing, Z., Zhang, J., Meng, Z., & Wang, X. (2025). Innovative applications of medium- and long-chain triacylglycerol in nutritional support: Current perspectives and future directions. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *24*(2), e70116. https://doi.org/10.1111/1541-4337.70116
18. Zhu, L., Fang, S., Zhang, Y., Sun, X., Yang, P., Lu, W., & Yu, L. (2024). Effects of sn-2 Palmitic Triacylglycerols and the Ratio of OPL to OPO in Human Milk Fat Substitute on Metabolic Regulation in Sprague-Dawley Rats. *Nutrients*, *16*(9), 1299. https://doi.org/10.3390/NU16091299/S1
19. Zou, X., Ali, A. H., Abed, S. M., & Guo, Z. (2017). Current knowledge of lipids in human milk and recent innovations in infant formulas. *Current Opinion in Food Science*, *16*, 28–39. https://doi.org/10.1016/J.COFS.2017.06.010

Dr inż. Aleksandra Purkiewicz-Petruś,
Dr hab. inż. Renata Pietrzak-Fiećko, prof. UWM
Katedra Towaroznawstwa i Badań Żywności,
Wydział Nauki o Żywności, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

ZNACZENIE KWASÓW TŁUSZCZOWYCH W ŻYWIENIU NAJMŁODSZYCH

Wstęp

Tłuszcze stanowią istotny składnik diety niemowląt, dostarczając energii, pełnią także funkcje metaboliczne i fizjologiczne, kluczowe dla wzrostu, rozwoju i zdrowia niemowląt. W pierwszych miesiącach życia zapotrzebowanie na tłuszcze jest szczególnie wysokie, co wynika z intensywnego rozwoju oraz dużych potrzeb energetycznych organizmu. Oprócz dostarczania energii, lipidy umożliwiają wchłanianie witamin rozpuszczalnych w tłuszczach (A, D, E, K) i stanowią źródło niezbędnych nienasyconych kwasów tłuszczowych (Delplanque i in., 2015). Szczególną rolę w okresie niemowlęcym przypisuje się wielonienasyconym kwasom tłuszczowym (PUFA), których unikalne właściwości bioaktywne mają znaczący wpływ na kształtowanie układu nerwowego i odpornościowego niemowlęcia. Należy podkreślić, że organizm ludzki nie jest zdolny do syntezy kwasów linolowego (LA) i α-linolenowego (ALA), dlatego muszą być one dostarczane z pożywieniem. Podstawowym źródłem kwasów tłuszczowych w żywieniu niemowląt jest mleko kobiece (HM, human milk) lub preparaty do żywienia niemowląt (IFs, infant formulas), których skład lipidowy opracowuje się z uwzględnieniem potrzeb rozwijającego się organizmu (Bousset-Alféres i in., 2022).

Profil kwasów tłuszczowych mleka kobiecego a skład preparatów do żywienia niemowląt

Lipidy stanowią jeden z kluczowych składników HM, odpowiadając za około 3-5% jego składu (Wu i in., 2023). Ich zawartość zmienia się w trakcie laktacji, a stężenie tłuszczu jest szczególnie wysokie w mleku dojrzałym. Spośród głównych składników odżywczych HM frakcja lipidowa charakteryzuje się znaczną zmiennością (Xi i in., 2023). W pierwszych miesiącach życia tłuszcze dostarczają ponad 50% energii niezbędnej do wzrastania i rozwoju niemowlęcia (Ma i in., 2023). Frakcja lipidowa HM składa się przede wszystkim z triacylogliceroli (TAG) (98,1–98,8%), natomiast mniejsze udziały stanowią fosfolipidy (0,28–0,80%) i sterole (0,25–0,34%) (Kowalska i in., 2015). Pod względem profilu kwasów tłuszczowych dominują nasycone kwasy tłuszczowe (SFA) oraz jednonienasycone kwasy tłuszczowe (MUFA), a mniejszy udział przypada na wielonienasycone kwasy tłuszczowe z rodzin omega-3 i omega-6 (PUFA *n*-3 i PUFA *n*-6). Około połowy kwasów tłuszczowych obecnych w HM stanowią SFA, wśród których istotny udział ma kwas palmitynowy (C16:0), odpowiadający za około 20% całkowitej puli kwasów tłuszczowych. Największy udział wykazuje jednak kwas oleinowy (C18:1 *n*-9), stanowiący około 35% tej puli (Kowalska i in., 2015).

Skład lipidowy HM podlega wpływowi wielu czynników, w tym etapu laktacji, wieku matki, jej stanu odżywienia, uwarunkowań społeczno-ekonomicznych oraz nawyków żywieniowych i stylu życia (Miliku i in., 2019). Zmienność ta może odzwierciedlać zarówno indywidualne różnice między kobietami, jak i zmieniające się potrzeby rozwijającego się niemowlęcia. Wskazuje się na korelację pomiędzy rodzajem stosowanej diety a kompozycją kwasów tłuszczowych HM, zwłaszcza PUFA (Kim i in., 2017, Armand i in., 2018). W literaturze przedmiotu potwierdza się, że dieta zawierająca źródła omega 3 (m.in. tłuste ryby morskie, orzechy, olej lniany) oraz omega 6 (olej słonecznikowy, olej kukurydziany) wpływa na poziom długołańcuchowych wielonienasyconych kwasów tłuszczowych (LCPUFA) (Zielińska Pukos i in., 2022). Dobrze udokumentowany jest wpływ stadium laktacji na skład lipidowy HM. Zawartość MUFA w HM jest stosunkowo stabilna w trakcie laktacji, jednak stężenie niektórych z nich, w tym kwasu eikozenowego i erukowego, może zmniejszać się wraz z dojrzewaniem mleka (Floris i in., 2020). Zmiany te wskazują na zróżnicowaną dynamikę zmian poszczególnych kwasów tłuszczowych w kolejnych etapach laktacji. Ponieważ zdolność niemowlęcia do endogennej syntezy LCPUFA może być ograniczona ze względu na niedojrzałość szlaków metabolicznych, istotne znaczenie ma zapewnienie ich odpowiedniej podaży z pokarmem. Wczesne rozpoczęcie karmienia piersią umożliwia dostarczenie siary, która stanowi źródło kwasów tłuszczowych i innych składników wspierających adaptację noworodka do życia pozamacicznego (Moltó-Puigmartí i in., 2011). Ponadto, w siarze obserwuje się wyższy udział niektórych LCPUFA, w tym kwasu arachidonowego (AA) i dokozaheksaenowego (DHA), co ma znaczenie w okresie intensywnego rozwoju układu nerwowego i narządu wzroku noworodka. Chociaż AA i DHA mogą być syntetyzowane z odpowiednio kwasu linolowego (LA) i α-linolenowego (ALA), wydajność tych przemian u niemowląt jest ograniczona. Wraz z dojrzewaniem organizmu zmienia się zdolność do syntezy LCPUFA, a ich zawartość w HM może stopniowo się zmniejszać (Yang i in., 2022b).

W IFs frakcja tłuszczowa jest najczęściej komponowana z mieszanin olejów roślinnych, dobieranych w celu zapewnienia odpowiedniej ilości energii oraz właściwego profilu kwasów tłuszczowych. Do powszechnie wykorzystywanych surowców należą oleje kokosowy, palmowy, sojowy i krokoszowy (Luo i in., 2023). W celu zwiększenia zawartości LCPUFA stosuje się również oleje pochodzące z mikroorganizmów, między innymi z mikroalg *Crypthecodinium cohnii*, będących źródłem DHA, oraz grzybów *Mortierella alpina*, wykorzystywanych jako źródło AA (Finco i in., 2017). W konsekwencji właściwości żywieniowe frakcji lipidowej IFs zależą w dużej mierze od rodzaju, proporcji i jakości zastosowanych surowców tłuszczowych (Delplanque i in., 2015).

Istotnym aspektem składu IFs jest zawartość DHA, który pełni ważną funkcję w rozwoju mózgu i narządu wzroku. Znaczenie DHA w żywieniu niemowląt znajduje odzwierciedlenie w przepisach Unii Europejskiej, które od 22 lutego 2020 r. wymagają jego obecności w IFs do początkowego i dalszego żywienia niemowląt

w ilości 20–50 mg/100 kcal (Bocquet i in., 2020; Tounian i in., 2021). Regulacje te mają na celu zapewnienie odpowiedniej podaży DHA również niemowlętom żywionym IFs. Dodatek AA nie jest natomiast obowiązkowy na mocy tych przepisów, mimo jego istotnej roli fizjologicznej (Koletzko i in., 2020). Z kolei w rewizji norm Kodeksu Żywnościowego z 2023 r. wskazano, że zawartość AA w IFs powinna być co najmniej równa zawartości DHA (Codex Alimentarius, 2023). Zagadnienie to podkreśla znaczenie uwzględniania nie tylko ilości poszczególnych kwasów tłuszczowych, lecz także ich wzajemnych proporcji przy ocenie składu IFs.

Pomimo że pełne odtworzenie złożonego składu HM nie jest obecnie możliwe, rozwój technologii produkcji IFs umożliwia coraz lepsze odwzorowanie wybranych jego właściwości (Luo i in., 2023). Działania te obejmują zarówno wzbogacanie IFs w składniki, takie jak oligosacharydy mleka kobiecego, probiotyki i PUFA, jak i modyfikowanie właściwości fizykochemicznych poszczególnych komponentów. Szczególną uwagę zwraca się na strukturyzację lipidów oraz enzymatyczną interesteryfikację tłuszczów, których celem jest uzyskanie profilu i struktury lipidowej bardziej zbliżonych do występujących w HM (Goehring i in., 2016; Holst i in., 2023; Yuan i in., 2020).

Modyfikacje lipidów w preparatach dla niemowląt

Współczesne badania nad IFs koncentrują się na poszukiwaniu rozwiązań pozwalających lepiej odwzorować właściwości HM. W odniesieniu do lipidów, oprócz odpowiedniego doboru składników odżywczych, istotnym aspektem jest ich budowa i wzajemne rozmieszczenie (Szajewska i in., 2026). W tradycyjnych IFs tłuszcze pełnią przede wszystkim funkcję energetyczną i dostarczają PUFA. Stosowanie do tego celu mieszaniny olejów roślinnych pozwala kontrolować profil IFs, jednak struktura lipidów w IFs różni się od tej w HM. W HM tłuszcz występuje w postaci kuleczek otoczonych błoną (MFGM – Milk Fat Globule Membrane), zawierającą między innymi fosfolipidy, cholesterol i białka błonowe. Składniki te mogą wspierać trawienie tłuszczów oraz pełnić funkcje związane z rozwojem mózgu i układu odpornościowego (Szajewska i in., 2026). W tradycyjnych IFs tłuszcz jest zwykle rozproszony w postaci znacznie mniejszych kropelek, stabilizowanych głównie przez białka i emulgatory. Z tego względu współczesne badania koncentrują się nie tylko na odpowiednim składzie kwasów tłuszczowych, ale również na modyfikacji struktury lipidów. Obejmuje to między innymi stosowanie β-palmitynianu, dodatek tłuszczu mlecznego i składników błony MFGM oraz opracowywanie emulsji o strukturze bardziej zbliżonej do HM (Nejrup i in., 2017; Havlicekova i in., 2016).

Zmiana struktury TAG polega na zwiększeniu udziału kwasu palmitynowego w pozycji *sn*-2 TAG (β-palmitynian) oraz zastosowaniu TAG zawierających reszty średnio- i długołańcuchowych kwasów tłuszczowych (MLCT) (Szajewska i in., 2026; Chen i in., 2025). W HM około 70-75% kwasu palmitynowego występuje w pozycji *sn*-2, co sprzyja jego wchłanianiu i ogranicza powstawanie nierozpuszczalnych mydeł wapniowych, zmniejszając straty tłuszczu i wapnia. Z

kolei MLCT mogą ulegać efektywnemu trawieniu i wspierać wykorzystanie tłuszczów jako źródła energii. Wprowadzenie tych rozwiązań ma na celu upodobnienie struktury lipidów IFs do HM oraz poprawę ich trawienia i wchłaniania. Badania wskazują na możliwe korzyści, takie jak zwiększona absorpcja tłuszczu i wapnia oraz bardziej miękka konsystencja stolca (Chen i in., 2025).

W tradycyjnych IFs do żywienia niemowląt źródłem lipidów są głównie oleje roślinne. Jednym z kierunków modyfikacji ich składu jest częściowe zastępowanie olejów tłuszczem mlecznym, co pozwala wzbogacić IFs w bardziej zróżnicowane składniki lipidowe, w tym fosfolipidy i cholesterol, oraz upodobnić profil kwasów tłuszczowych do występującego w HM (Szajewska i in., 2026). IFs zawierające tłuszcz mleczny pochodzący z mleka krowiego wykazują większe podobieństwo do HM pod względem wybranych cech składu lipidowego niż mieszanki oparte wyłącznie na olejach roślinnych (Hokkanen i in., 2022).

Kolejnym kierunkiem modyfikacji IFs jest dodatek składników błony kuleczek tłuszczowych mleka (MFGM), zawierającej m.in. fosfolipidy, cholesterol i białka. Jej obecność pozwala wzbogacić IFs w składniki naturalnie występujące w HM, których brakuje w tradycyjnych mieszankach opartych głównie na olejach roślinnych (Hedrick i in., 2021). Badania kliniczne nad suplementacją składnikami MFGM wskazują na możliwe korzyści, obejmujące poprawę wyników rozwoju poznawczego oraz zmniejszenie częstości niektórych infekcji, w tym biegunki i ostrego zapalenia ucha środkowego (Ambrożej i in., 2021; Szajewska i in., 2026). Wykazano również, że IFs wzbogacone w MFGM mogą wspierać prawidłowe wzrastanie niemowląt i są dobrze tolerowane (Hedrick i in., 2021).

Podsumowanie

Skład frakcji lipidowej HM stanowi punkt odniesienia dla doskonalenia składu lipidowego IFs. Poszukiwanie nowych rozwiązań w zakresie żywienia niemowląt obejmuje nie tylko dobór odpowiednich kwasów tłuszczowych, lecz także modyfikację ich struktury w IFs. Szczególne zainteresowanie budzą składniki takie jak MFGM oraz strukturyzowane TAG, a ich zastosowanie ukierunkowane jest na lepsze odwzorowanie składu lipidowego HM. Dotychczasowe wyniki badań wskazują na rozwój obiecujących kierunków modyfikacji IFs, jednak ich znaczenie wymaga dalszej oceny w badaniach klinicznych.

Piśmiennictwo:

1. Ambrożej, D., Dumycz, K., Dziechciarz, P., Ruszczyński, M. Milk Fat Globule Membrane Supplementation in Children: Systematic Review with Meta-Analysis. Nutrients., 13(3), 714. http://doi.org/10.3390/nu13030714
2. Armand, M, Bernard, JY, Forhan, A, Heude, B, Charles, MA. (2018). Maternal nutritional determinants of colostrum fatty acids in the EDEN mother-child cohort. Clinical Nutrition, 37(6), 2127–2136. http://doi.org/10.1016/j.clnu.2017.10.007.
3. Bocquet, A., Briend, A., Chouraqui, J.-P., Darmaun, D., Feillet, F., Frelut, M.-L., Guimber, D., Hankard, R., Lapillonne, A., Peretti, N., Roze, J.-C., Siemoni, U., Turck, D., Dupont, C., Comité de Nutrition de la Société Française de Pédiatrie (CN-SFP).

(2020). The new European regulatory framework for infant and follow-on formulas: Comments from the Committee of Nutrition of the French Society of Pediatrics (CN-SFP). Archives de Pédiatrie, 27(7), 351–353. https://doi.org/10.1016/j.arcped.2020.09.002.

4. Bousset-Alféres, C.M., Chávez-Servín, J.L., Vázquez-Landaverde, P.A., Betancourt-López, C.A., Del Carmen Caamaño, M., Ferriz-Martínez, R.A., Chávez-Alabat, E.F., LovatónCabrera, M.G., De la Torre-Carbot, K. (2022). Content of industrially produced trans fatty acids in breast milk: An observational study. Food Science & Nutrition, 10(8), 2568– 2581. http://doi.org/10.1002/fsn3.2862.
5. Chen, X., Yang, M., Wei, W., Huang, S., Qiu, Y., Li, XZ., Lan, Q., Huang, B., Wu, T., Bi, Q., Qang, X., Zhu, H. (2025). A Novel Infant Formula with Medium- and Long-Chain Triacylglycerols and sn-2 Palmitate Supports Adequate Growth and Lipid Absorption in Healthy Term Infants. Nutrients, 17(9), 1401. https://doi.org/10.3390/nu17091401
6. Codex Alimentarius. Standard for Follow-Up Formula for Older Infants and Product for Young Children. CXS 156-1987. Pobrane z https://www.isdi.org/wpcontent/uploads/2020/04/CXS-156-1987.pdf (16.10.2026)
7. Delplanque, B., Gibson, R., Koletzko, B., Lapillonne, A., Strandvik, B. (2015). Lipid Quality in Infant Nutrition: Current Knowledge and Future Opportunities. Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition, 61(1), 8–17. https://doi.org/10.1097/MPG.0000000000000818.
8. Finco A.M.O., Mamani, L.G.D., De Carvalho, J.C., Pereira, G.V.M., Thomaz-Soccol, V., Soccol, C.R. (2017). Technological trends and market perspectives for production of microbial oils rich in omega-3. Critical Reviews in Biotechnology, 37(5), 656-671. https://doi.org/10.1080/07388551.2016.1213221.
9. Floris, L.M., Stahl, B., Abrahamse-Berkeveld, M., Teller, I.C. (2020). Human milk fatty acid profile across lactational stages after term and preterm delivery: A pooled data analysis. Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids, 156, 102023. http://doi.org/10.1016/j.plefa.2019.102023.
10. Goehring, K.C., Marriage, B.J., Oliver, J.S., Wilder, J.A., Barrett, E.G., Buck, R.H. (2016). Similar to those who are breastfed, infants fed a formula containing 2′-fucosyllactose have lower inflammatory cytokines in a randomized controlled trial. The Journal of Nutrition, 146(12), 2559–2566. http://doi.org/10.3945/jn.116.236919.
11. Havlicekova, Z., Jesenak, M., Banovcin, P., Kuchta, M. (2016). Beta-palmitate – a natural component of human milk in supplemental milk formulas. Nutrition Journal, 15, 28. http://doi.org/10.1186/s12937-016-0145-1
12. Hedrick, J., Yeiser, M., Harris, C., Wampler, J.L., London, H.E., Petterson, A.C., Wu, S.S. (2021). Infant Formula with Added Bovine Milk Fat Globule Membrane and Modified Iron Supports Growth and Normal Iron Status at One Year of Age: A Randomized Controlled Trial. Nutrients, 13(12), 4541. http://doi.org/10.3390/nu13124541
13. Hokkanen S., Frey A. D., Yang B., Linderborg, K.M. (2022) *Similarity Index for the Fat Fraction between Breast Milk and Infant Formulas*, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 70, 6191-6201. http://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c08029
14. Holst, A.Q., Myers, P., Rodríguez-García, P., Hermes, G.D.A., Melsaether, C., Baker, A., Jensen, S.R., Parschat, K. (2023). Infant formula supplemented with five human milk oligosaccharides shifts the fecal microbiome of formula-fed infants closer to that of breastfed infants. Nutrients, 15(14), 3087. http://doi.org/10.3390/nu15143087.

15. Kowalska, D., Gruczyńska, E., Bryś, J. (2015). Mleko matki – pierwsza żywność w życiu człowieka. Problemy Higieny i Epidemiologii, 96(2), 387-398.

16. Kim, H, Kang, S, Jung, BM, Yi, H, Jung, JA, and Chang, N. (2017). Breast milk fatty acid composition and fatty acid intake of lactating mothers in South Korea. British Journal of Nutrition, 117(4), 556–561. http://doi.org/10.1017/S0007114517000253.

17. Koletzko, B., Bergmann, K., Thomas Brenna, J., Calder, P.C., Campoy, C., Clandinin, M.T., Colombo, J., Daly, M., Decsi, T., Demmelmair, H., Domellöf, M., FilderMis, N., Gonzalez-Casanova, I., Van Goudoever, J.B., Hadjipanayis, A., Hernell, O., Lapillonne, A., Mader, S., Martin, C.R., Matthäus, V., Ramakrishan, U., Smuts, C.M., Strain, S.J.J., Tanjung, C., Tounian, P., Carlson, S.E., on behalf of the European Academy of Paediatrics and the Child Health Foundation. (2020). Should formula for infants provide arachidonic acid along with DHA? A position paper of the European Academy of Paediatrics and the Child Health Foundation. The American Journal of Clinical Nutrition, 111(1), 10–16. https://doi.org/10.1093/ajcn/nqz252.

18. Luo, G., Zhu, Y., Ni, D., Chen, J., Zhang, W., Mu, W. (2023). Infant formulae – Key components, nutritional value, and new perspectives. Food Chemistry, 424, 136393. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136393.

19. Ma, Q., Zhang, X., Li, X., Liu, L., Liu, S., Hao, D., Bora, A.F.M., Kouame, K.I.E.-P., Xu, Y., Liu, W., Li, J. (2023). Novel trends and challenges in fat modification of next-generation infant formula: Considering the structure of milk fat globules to improve lipid digestion and metabolism of infants. Food Research International, 174(1),113574. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113574.

20. Miliku, K., Duan, Q. L., Moraes, T. J., Becker, A. B., Mandhane, P. J., Turvey, S. E., Lefebvre, D. L., Sears, M. R., Subbarao, P., Field, C. J., Azad, M. B. (2019). Human milk fatty acid composition is associated with dietary, genetic, sociodemographic, and environmental factors in the CHILD Cohort Study. American Journal of Clinical Nutrition, 110(6), 1370–1383. https://doi.org/10.1093/ajcn/nqz229.

21. Moltó-Puigmartí, C., Castellote, A.I., Carbonell-Estrany, X., López-Sabater, M.C. (2011). Differences in fat content and fatty acid proportions among colostrum, transitional, and mature milk from women delivering very preterm, preterm, and term infants. Clinical Nutrition, 30(1), 116–123. http://doi.org/10.1016/j.clnu.2010.07.013.

22. Nejrup, R, G., Licht, T.R., Hellgren, L.I. (2017). Fatty acid composition and phospholipid types used in infant formulas modifies the establishment of human gut bacteria in germ-free mice. Scientific Reports, 7, 3975. http://doi.org/10.1038/s41598-017-04298-0

23. Szajewska, H., Gruszfeld, D., Kwinta, P., Matusik, P., Socha, P. (2026). Nowoczesne strategie modyfikacji tłuszczów w żywieniu niemowląt: od składu lipidów do dużych kropli tłuszczu pokrytych fosfolipidami. Standardy Medyczne/Pediatria, 23. http://doi.org/10.17443/SMP2026.23.07

24. Tounian, P., Bellaïche, M., Legrand, P. (2021). ARA or no ARA in infant formulae, that is the question. Archives de Pédiatrie, 28(1), 69–74. http://doi.org/10.1016/j.arcped.2020.10.001.

25. Wu, D., Zhang, L., Shi, J., Tan, C.P., Zheng, Z., Liu, Y. (2023). Lipid Profiles of Human Milk and Infant Formulas: A Comparative Lipidomics Study. Foods, 12, (3), 600. https://doi.org/10.3390/foods12030600.

26. Xi, Q., Liu, W., Zeng, T., Chen, X., Luo, T., Deng, Z. (2023). Effect of Different Dietary Patterns on Macronutrient Composition in Human Breast Milk: A Systematic Review and MetaAnalysis. Nutrients, 15(3), 485. http://doi.org/10.3390/nu15030485.

27. Yang, Y., Li, G., Li, F., Xu, F., Hu, P., Xie, Z., Lu, X., Ding, Y., Wang, Z. (2022b). Impact of DHA from Algal Oil on the Breast Milk DHA Levels of Lactating Women: A Randomized Controlled Trial in China. Nutrients, 14(16), 3410. http://doi.org/10.3390/nu14163410.
28. Yuan, T., Wei, W., Wang, X., Jin, Q. (2020). Biosynthesis of structured lipids enriched with medium and long-chain triacylglycerols for human milk fat substitute. LWT – Food Science and Technology, 128(7), 109255. http://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109255.
29. Zielińska-Pukos, M.A., Bryś, J., Wesołowska, A., Hamułka, J. (2022). Breastmilk PUFA strongly associated with maternal dietary intake but not anthropometric parameters and breastmilk carotenoids. Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids, 186, 102505. https://doi.org/10.1016/j.plefa.2022.102505.

Dr n. farm. Monika Grabia–Lis
Zakład Bromatologii, Wydział Farmaceutyczny z Oddziałem Medycyny Laboratoryjnej, Uniwersytet Medyczny w Białymstoku
Polskie Towarzystwo Nauk Żywieniowych, Oddział Białostocki

OD PRODUKTU DO EFEKTU METABOLICZNEGO – WPŁYW ŻYWNOŚCI FUNKCJONALNEJ NA PROFIL LIPIDOWY I SKŁAD CIAŁA OSÓB Z INSULINOOPORNOŚCIĄ I ZABURZENIAMI LIPIDOWYMI

Insulinooporność i zaburzenia lipidowe należą do istotnych problemów współczesnego zdrowia publicznego. Insulinooporność, często współwystępująca z nadmierną masą ciała, otyłością trzewną i dyslipidemią, stanowi jeden z kluczowych mechanizmów prowadzących do rozwoju cukrzycy typu 2, chorób sercowo-naczyniowych, a w konsekwencji zespołu metabolicznego. Najnowsza metaanaliza 87 badań, obejmujących ponad 235 tysięcy osób, oszacowała globalną częstość występowania insulinooporności na 26,53% (95% CI: 24,10–29,03%), co wskazuje na dużą skalę problemu i potrzebę poszukiwania skutecznych, możliwych do zastosowania w codziennym życiu strategii żywieniowych [Ballena-Caicedo i wsp., 2025].

W tym kontekście szczególne zainteresowanie budzi żywność funkcjonalna, która, spożywana w ilościach typowych dla codziennej diety, wykazuje udokumentowany naukowo korzystny wpływ na wybrane funkcje organizmu, wykraczający poza jej podstawowe działanie odżywcze [Temple, 2022; Świderski 2020]. Jednym z podstawowych założeń projektowania żywności funkcjonalnej powinno być przede wszystkim rozpoznanie rzeczywistych potrzeb konsumentów. Potrzeby te nie zawsze są tożsame z tym, co z perspektywy specjalisty wydaje się optymalnym rozwiązaniem żywieniowym. W przypadku osób z insulinoopornością i zaburzeniami lipidowymi istotne mogą być między innymi: ograniczenie ilości energii i cukrów prostych, odpowiednia ilość i jakość tłuszczu, zwiększenie podaży błonnika pokarmowego, odpowiednia zawartość białka oraz niski ładunek glikemiczny posiłku, a także możliwość łatwego włączenia produktu do codziennego jadłospisu. Jednocześnie produkt powinien odpowiadać preferencjom smakowym i kulturowym konsumentów oraz być łatwy do włączenia do codziennej diety. Znaczenie tych elementów jest szczególnie istotne, ponieważ przestrzeganie zaleceń dietetycznych jest jednym z głównych wyzwań długoterminowych interwencji żywieniowych [Deslippe i wsp, 2023; Leidy i wsp, 2024].

Kolejnym etapem jest przełożenie założeń żywieniowych na recepturę produktu. Na tym etapie wiedza z zakresu żywienia człowieka, technologii żywności, dietetyki i nauk o metabolizmie powinna zostać połączona z oczekiwaniami konsumenta. W praktyce proces może obejmować opracowanie kilku wariantów receptury, dobór źródeł błonnika, białka, korzystnych kwasów tłuszczowych lub innych składników bioaktywnych, a następnie modyfikację parametrów technologicznych i sensorycznych. Szczególne znaczenie ma znalezienie kompromisu pomiędzy wartością odżywczą a właściwościami produktu –

zwiększenie zawartości składnika korzystnego metabolicznie nie powinno prowadzić do pogorszenia smaku, zapachu, tekstury czy łatwości stosowania [Jhunior i wsp, 2026; Prieto i wsp. 2026].

Analiza sensoryczna stanowi zatem nie dodatek do procesu projektowania, lecz jeden z jego kluczowych etapów. Współczesne metody sensoryczne umożliwiają zarówno opis właściwości produktu, jak i ocenę jego akceptacji przez potencjalnych konsumentów [Drake i wsp. 2023]. Jest to szczególnie istotne w przypadku żywności projektowanej jako „zdrowsza", ponieważ poprawa wartości odżywczej nie będzie miała znaczenia klinicznego, jeżeli produkt nie będzie chętnie spożywany. Znaczenie może mieć również zastępowanie tradycyjnych produktów ich zmodyfikowanymi odpowiednikami o korzystniejszym składzie [Laureati i wsp, 2024; Mosikyan i wsp, 2024].

Po uzyskaniu satysfakcjonującego prototypu konieczna jest weryfikacja laboratoryjna jego rzeczywistego składu. Powinna ona obejmować ocenę wartości odżywczej oraz oznaczenie kluczowych składników, których obecność lub określony poziom stanowił podstawę założeń receptury. W przypadku rozbieżności pomiędzy zakładaną a oznaczoną ilością składników niezbędna jest modyfikacja receptury i ponowna weryfikacja. Istotnym etapem jest także skalowanie procesu produkcyjnego. Receptura, która sprawdza się w warunkach laboratoryjnych, nie zawsze zachowuje identyczne właściwości po przeniesieniu do produkcji na większą skalę. Zmiana parametrów procesu, rodzaju urządzeń, czasu mieszania, temperatury, sposobu dozowania surowców czy ich partii może wpływać zarówno na właściwości sensoryczne, jak i rzeczywisty skład produktu. Dlatego niezbędna jest ścisła współpraca zespołu badawczego z technologami i producentem, obejmująca standaryzację procesu, kontrolę surowców oraz ocenę kolejnych partii produkcyjnych. Dopiero uzyskanie powtarzalnego produktu pozwala przejść do kolejnego etapu – oceny jego wpływu na organizm [González-Ferrero i wsp, 2015; Rathore i wsp. 2017].

Sama obecność składników o potencjalnym działaniu metabolicznym nie przesądza bowiem o skuteczności produktu. Aktualne dane wskazują, że odpowiednio zaprojektowana żywność może wpływać na parametry istotne z punktu widzenia insulinooporności i dyslipidemii. Szczególnie dobrze udokumentowane są korzyści związane ze zwiększeniem podaży błonnika. Metaanaliza 181 randomizowanych badań klinicznych, obejmująca 14,5 tysiąca uczestników, wykazała, że suplementacja błonnikiem rozpuszczalnym prowadziła do istotnego obniżenia stężenia parametrów profilu lipidowego [Ghavami i wsp, 2023].

W ramach realizowanego przez nas projektu, finansowanego ze środków Unii Europejskiej w ramach Krajowego Planu Odbudowy i Zwiększania Odporności (KPO) pt. "Innowacyjne produkty spożywcze jako żywność specjalnego przeznaczenia medycznego dla pacjentów z zaburzeniami metabolicznymi – badania przedwdrożeniowe" opracowaliśmy trzy produkty, będące żywnością funkcjonalną w postaci zupy, koktajlu i przekąski w formie kulek, które zostały

oparte na składnikach pochodzenia roślinnego o niskim indeksie glikemicznym, zawierające kompleks substancji czynnych wykazujących potencjalnie korzystny wpływ na profil lipidowy i metabolizm glukozy: ekstrakt z morwy białej (standaryzowany na zawartość 1-deoksynojirymycyny, 1-DNJ), betaina bezwodna, ekstrakt standaryzowany na zawartość rutyny i kwercetyny oraz cytrynian cynku. Sześciotygodniową interwencję żywieniową przeprowadzono w grupie 50 osób z insulinoopornością i zaburzeniami lipidowymi, u których nie stosowano farmakoterapii. Uczestnicy otrzymywali opracowane produkty w postaci żywności funkcjonalnej. Grupę porównawczą stanowiło 20 osób z tymi samymi zaburzeniami, które nie spożywały testowanych produktów, ale otrzymały zalecenia żywieniowe. Ocenę efektów interwencji przeprowadzono przed jej rozpoczęciem oraz po sześciu tygodniach. Analiza obejmowała parametry biochemiczne krwi, w tym stężenie cholesterolu całkowitego (TC), lipoprotein o dużej gęstości (HDL) i lipoprotein o małej gęstości (LDL) oraz triglicerydów (TG). Dodatkowo, wykonano analizę składu ciała metodą bioimpedancji elektrycznej (BIA).

W grupie poddanej interwencji żywieniowej z zastosowaniem zaprojektowanej żywności funkcjonalnej odnotowano korzystne zmiany wybranych parametrów profilu lipidowego. Średnie stężenie TC obniżyło się o 6,5 mg/dl ($p<0,05$), a LDL o 7,2 mg/dl ($p<0,01$). W grupie kontrolnej nie wykazano istotnych statystycznie zmian w zakresie stężenia TC, LDL ani TG. Interwencji towarzyszyła również poprawa wybranych parametrów składu ciała. W grupie badanej zaobserwowano istotne zmniejszenie zawartości tkanki tłuszczowej o 1,24 kg oraz powierzchni tkanki tłuszczowej trzewnej o 4,72 cm^2 ($p<0,001$). Ponadto, odnotowano obniżenie wskaźnika masy ciała o 0,46 kg/m^2 oraz stopnia otyłości o 2,13% ($p<0,001$). W grupie kontrolnej nie stwierdzono istotnych statystycznie zmian w powyższych analizowanych parametrach składu ciała.

Podsumowując, żywność funkcjonalna dla osób z insulinoopornością i zaburzeniami lipidowymi powinna być wynikiem procesu łączącego potrzeby pacjenta, wiedzę naukową, technologię żywności, ocenę sensoryczną oraz kontrolę jakości. Droga od koncepcji produktu do efektu metabolicznego obejmuje identyfikację potrzeb grupy docelowej, opracowanie i optymalizację receptury, ocenę sensoryczną, laboratoryjną weryfikację wartości odżywczej, skalowanie i standaryzację produkcji, a następnie odpowiednio zaprojektowaną interwencję żywieniową. Dopiero połączenie tych etapów pozwala ocenić, czy założenia technologiczne i żywieniowe rzeczywiście przekładają się na mierzalną zmianę profilu metabolicznego. W tym ujęciu żywność funkcjonalna nie jest jedynie produktem o „lepszym składzie", lecz narzędziem, którego skuteczność powinna być oceniana w całym łańcuchu – od rzeczywistej potrzeby człowieka, przez projekt produktu, aż po jego efekt metaboliczny.

Piśmiennictwo:

1. Ballena-Caicedo J, Zuzunaga-Montoya FE, Loayza-Castro JA, et al. Global prevalence of insulin resistance in the adult population: a systematic review and meta-analysis. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2025;16:1646258. doi:10.3389/fendo.2025.1646258
2. Temple NJ. A rational definition for functional foods: A perspective. *Front Nutr*. 2022;9:957516. doi:10.3389/fnut.2022.957516
3. Świderski F. Żywność wygodna i żywność funkcjonalna, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2020
4. Deslippe AL, Soanes A, Bouchaud CC, et al. Barriers and facilitators to diet, physical activity and lifestyle behavior intervention adherence: a qualitative systematic review of the literature. *Int J Behav Nutr Phys Act*. 2023;20(1):14. doi:10.1186/s12966-023-01424-2
5. Leidy HJ, Gooding R, Hicks-Roof K. Perspective: Key Considerations When Developing and Publishing Dietary Interventions for Human Clinical Trials. *J Nutr*. 2024;154(10):2904-2908. doi:10.1016/j.tjnut.2024.08.024
6. Jhunior A. Marcìa-Fuentes, Ricardo Santos Aleman, Franklin Ore Areche, Denis Corilla Flores, Almer Ventura Roman, Daniel Martín-Vertedor, Ismael Montero-Fernández, Functional foods: A review of foods ingredient and their health benefits, *Food Humanity*, 2026, 6, 100953. doi: https://doi.org/10.1016/j.foohum.2025.100953
7. Prieto N, Nosworthy MG, López-Campos Ó, et al. Ingredient innovations for food reformulation: Functional ingredients, alternative proteins, and fat, salt and sugar replacers. *Adv Food Nutr Res*. 2026;122:189-237. doi:10.1016/bs.afnr.2026.03.006
8. Drake MA, Watson ME, Liu Y. Sensory Analysis and Consumer Preference: Best Practices. *Annu Rev Food Sci Technol*. 2023;14:427-448. doi:10.1146/annurev-food-060721-023619
9. Laureati M, De Boni A, Saba A, et al. Determinants of Consumers' Acceptance and Adoption of Novel Food in View of More Resilient and Sustainable Food Systems in the EU: A Systematic Literature Review. *Foods*. 2024;13(10):1534. doi:10.3390/foods13101534
10. Mosikyan S, Dolan R, Corsi AM, Bastian S. A systematic literature review and future research agenda to study consumer acceptance of novel foods and beverages. *Appetite*. 2024;203:107655. doi:10.1016/j.appet.2024.107655
11. González-Ferrero C, Sáiz-Abajo MJ. Characterization and stability studies of bioactive compounds and food matrices as evidence in support of health claims. Int J Food Sci Nutr. 2015;66(1):4-12. doi:10.3109/09637486.2015.1042843
12. Rathore AS, Kapoor G. Implementation of quality by design toward processing of food products. Prep Biochem Biotechnol. 2017;47(5):435-440. doi:10.1080/10826068.2017.1315601
13. Ghavami A, Ziaei R, Talebi S, et al. Soluble Fiber Supplementation and Serum Lipid Profile: A Systematic Review and Dose-Response Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Adv Nutr*. 2023;14(3):465-474. doi:10.1016/j.advnut.2023.01.005

II Sesja Młodych Naukowców

Prowadzący – dr n. o zdr. Kacper Szewczyk
Katedra Żywienia Człowieka i Edukacji Zdrowotnej, Wydział Nauk o Zdrowiu,
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
Polskie Towarzystwo Nauk Żywieniowych, Oddział Warszawski

II Sesja Młodych Naukowców

Łukasz Orszański[1], Angelina Rosiak[2], Joanna Kałużna-Czaplińska[2]
[1] Szkoła Doktorska Politechniki Łódzkiej, Instytut Chemii Ogólnej i Ekologicznej, ul. Żeromskiego 114, 90-543 Łódź, lukasz.orszanski@dokt.p.lodz.pl
[2] Politechnika Łódzka, Instytut Chemii Ogólnej i Ekologicznej, ul. Żeromskiego 114, 90-543 Łódź

KWASY TŁUSZCZOWE W ŻYWIENIU NASZYCH PRZODKÓW

Wprowadzenie: Tłuszcze odgrywają istotną rolę w żywieniu człowieka od najdawniejszych czasów. Ich znaczenie wynika nie tylko z funkcji odżywczej, lecz także z możliwości wykorzystania ich pozostałości zachowanych w naczyniach ceramicznych do rekonstrukcji zwyczajów żywieniowych dawnych społeczności. Główne składniki tłuszczów, w tym kwasy tłuszczowe, mogą przetrwać w materiale archeologicznym przez tysiące lat, co umożliwia ich analizę z wykorzystaniem nowoczesnych technik analitycznych, w tym chromatografii gazowej sprzężonej ze spektrometrią mas (GC-MS).
Cel: Analiza pozostałości organicznych zachowanych w próbkach glinianych naczyń pochodzących z 18 osad neolitycznych zlokalizowanych na terenie Polski, ze szczególnym uwzględnieniem kwasów tłuszczowych i biomarkerów archeologicznych.
Metody: Do badania wykorzystano 56 próbek naczyń ceramicznych. Badane próbki zostały poddane ekstrakcji w aparacie Soxhleta i analizie GC-MS. Analiza statystyczna otrzymanych wyników polegała na porównaniu różnic w diecie pomiędzy poszczególnymi osadami. W tym celu wykorzystano permutacyjną wielowymiarową analizę wariancji (PERMANOVA) kwasów tłuszczowych oraz klasteryzację (metodą k-Średnich) biomarkerów archeologicznych.
Wyniki: Analiza statystyczna proporcji kwasów tłuszczowych wykazała, że istniały statystycznie istotne różnice pomiędzy dietą w poszczególnych osadach. Zaobserwowane zróżnicowanie może odzwierciedlać zarówno różnice w sposobie wykorzystywania surowców i praktykach kulinarnych pomiędzy osadami, jak i wewnątrzosadową zmienność analizowanych pozostałości.
Wnioski: Profil analizowanych pozostałości organicznych zachowanych w ceramice pradziejowej wskazuje na wykorzystanie surowców roślinnych i zwierzęcych przez badane społeczności. Natomiast, określenie ich udziału w całej diecie wymaga zbadania większej ilości próbek i uzupełnienia o dane archeobotaniczne.
Słowa kluczowe: chromatografia gazowa, spektrometria mas, archeometria, uczenie maszynowe

II Sesja Młodych Naukowców

Aleksandra Marchut
Katedra Dietetyki, Wydział Nauk o Zdrowiu,
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
ul. Nowoursynowska 159c, 02-776 Warszawa, aleksandra_marchut@sggw.edu.pl

ZWIĄZEK MIĘDZY ZASTĘPOWANIEM NASYCONYCH KWASÓW TŁUSZCZOWYCH W DIECIE INNYMI SKŁADNIKAMI ODŻYWCZYMI A RYZYKIEM SERCOWO-NACZYNIOWYM – PRZEGLĄD DOWODÓW NAUKOWYCH

Wprowadzenie: Według szacunków Światowej Organizacji Zdrowia (WHO), w 2023 roku na świecie z powodu chorób układu krążenia (CVD) zmarło około 19,9 miliona osób. Jednym z behawioralnych czynników ryzyka, mogących przyczyniać się do ich rozwoju, jest nieprawidłowy sposób żywienia, w tym zwiększone spożycie nasyconych kwasów tłuszczowych (SFA). Aby temu zapobiec zaleca się zastąpienie ich w diecie innymi składnikami odżywczymi, takimi jak: kwasy tłuszczowe wielonienasycone (PUFA) i jednonienasycone (MUFA), a także węglowodany złożone pochodzące z produktów pełnoziarnistych.
Cel: Celem pracy była ocena związku między zastępowaniem SFA w diecie PUFA i MUFA oraz węglowodanami złożonymi a ryzykiem rozwoju chorób sercowo-naczyniowych.
Metody: Przeszukanie baz naukowych, m.in. PubMed i Scopus. Jako słowa kluczowe przyjęto: „SFA", „dietary replacement", „PUFA", „MUFA", „complex carbohydrates", „CVD" i „cardiovascular risk".
Wyniki: Redukcja spożycia SFA z dietą jest związana z obniżeniem ryzyka wystąpienia CVD, przy czym w zależności od badania obserwowana jest różna jej skala, m.in. od 17% (HR = 0,83) do 21% (HR = 0,79). Największe, korzystne efekty zostały zaobserwowane w przypadku zastąpienia SFA w diecie PUFA (biorąc również pod uwagę MUFA i węglowodany złożone pochodzące z produktów pełnoziarnistych). Substytucja o 5% podaży energii, która pochodzi z SFA PUFA, wiązała się z niższym ryzkiem wystąpienia m.in. incydentów wieńcowych – o 13% (HR = 0,87) oraz choroby niedokrwiennej serca - o 25% (HR = 0,75).
Wnioski: Odpowiedni dobór składników odżywczych zastępujących SFA może sprzyjać ograniczeniu ryzyka rozwoju CVD. W zależności od zastosowanego składnika odżywczego obserwowana jest różna wielkość efektu oraz odmienny mechanizm oddziaływania.
Słowa kluczowe: SFA, PUFA, MUFA, węglowodany złożone, ryzyko sercowo-naczyniowe

II Sesja Młodych Naukowców

Angelika Bogusz[1*], Kacper Szewczyk[1], Dariusz Włodarek[2], Magdalena Górnicka[1]
[1] Katedra Żywienia Człowieka i Edukacji Zdrowotnej, Wydział Nauk o Zdrowiu, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa, *angelika_marcinkowska@sggw.edu.pl
[2] Katedra Dietetyki, Wydział Nauk o Zdrowiu, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa

LIPIDY POCHODZENIA RYBIEGO W MODULACJI PRZEWLEKŁEGO STANU ZAPALNEGO U KOBIET Z ENDOMETRIOZĄ: WYNIKI RANDOMIZOWANEGO BADANIA KONTROLOWANEGO

Wprowadzenie: Przewlekły stan zapalny i dysregulacja immunologiczna odgrywają kluczową rolę w patofizjologii endometriozy. Lipidy pochodzenia rybiego (FDLs, ang. Fish Derived Lipids), zawierające m.in. kwasy tłuszczowe n-3, alkiloglicerole i skwalen, mogą modulować te procesy.
Cel: Ocena wpływu FDLs na wybrane markery zapalne, nasilenie bólu i jakość życia kobiet z endometriozą.
Metody: W 12-tygodniowym randomizowanym badaniu kontrolowanym uczestniczyło 46 kobiet z endometriozą. Obie grupy (grupa kontrolna n=23; grupa interwencyjna n=23) stosowały zasady Talerza Zdrowego Żywienia, a grupa interwencyjna dodatkowo otrzymywała FDLs - kompleksową formulację zawierającą około 500 bioaktywnych lipidów, w tym kwasy tłuszczowe z rodzin n-3, n-9 i n-11, alkiloglicerole i skwalen, a także witaminy A i D3. Oceniono stężenia IL-1β, IL-6, IL-8, IL-10 i TNF-α w surowicy, kalprotektynę w kale, ból w skali VAS i jakość życia za pomocą kwestionariusza Endometriosis Health Profile 30 (EHP-30). Efekty międzygrupowe analizowano metodą ANCOVA, uwzględniając wartości wyjściowe.
Wyniki: W grupie interwencyjnej stężenie IL-10 wzrosło z 32,5 ± 51,5 do 265 ± 508 pg/ml (p=0,024) i różniło się istotnie między grupami. Nie wykazano jednoznacznego wpływu na pozostałe markery zapalne ani istotnych różnic między grupami w średnich zmianach bólu i wynikach uzyskanych za pomocą EHP-30. Redukcja bólu o ≥1 punkt VAS występowała jednak częściej u kobiet otrzymujących FDLs (73,9% wobec 34,8%; skorygowany RR = 2,11; 95% CI: 1,16–3,89; p = 0,014).
Wnioski: Spożywanie FDLs wiązało się ze wzrostem IL-10 i częstszą redukcją bólu o ≥1 punkt VAS. Wyniki nie potwierdzają uogólnionego działania przeciwzapalnego ani jednoznacznej przewagi klinicznej. Mała próba, szerokie przedziały ufności i eksploracyjny charakter analiz wskazują na potrzebę dalszych badań.

Słowa kluczowe: endometrioza, lipidy pochodzenia rybiego, interwencja żywieniowa, markery zapalne, IL-10.

II Sesja Młodych Naukowców

Marta Cieślak, Paulina Gątarek, Joanna Kałużna–Czaplińska
Instytut Chemii Ogólnej i Ekologicznej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka, ul. Żeromskiego 114, 90-543 Łódź, 248059@edu.p.lodz.pl

DIETA KETOGENICZNA W PADACZCE LEKOOPORNEJ

Wprowadzenie: Jedną z niefarmakologicznych metod leczenia padaczki lekoopornej jest dieta ketogeniczna, której skutki metaboliczne nadal nie są w pełni poznane, mimo dobrze udokumentowanej skuteczności klinicznej.
Cel: Charakterystyka profilu metabolomicznego osocza dzieci z padaczką lekooporną oraz ocena wpływu diety ketogenicznej na procesy metaboliczne.
Metody: Do badania włączono 18 dzieci z padaczką lekooporną: 9 na diecie ketogenicznej i 9 na diecie podstawowej. Profilowanie osocza wykonano z zastosowaniem chromatografii gazowej sprzężonej ze spektrometrią mas (GC–MS).
Wyniki: Uzyskane dane poddano analizie chemometrycznej z zastosowaniem analizy głównych składowych (PCA) oraz ortogonalnej analizy dyskryminacyjnej metodą częściowych najmniejszych kwadratów (OPLS-DA). W modelu OPLS-DA zaobserwowano wyraźną separację pomiędzy dwiema analizowanymi grupami. Zidentyfikowano 83 metabolity o wartościach VIP > 1, wskazujących na ich znaczący wkład w różnicowanie grup w modelu OPLS-DA. Analiza jednoczynnikowa wykazała różnice pomiędzy grupami dla 22 metabolitów przy niekorygowanym poziomie istotności statystycznej ($p < 0,05$). Po zastosowaniu korekcji FDR istotność statystyczną zachowały trzy metabolity - β-hydroksymaślan, kwas cytrynowy i 1,4-butanodiol. Poziomy dwóch pierwszych były istotnie wyższe, a trzeci poziom niższy w grupie dzieci stosujących dietę ketogeniczną. Zaobserwowano również niższe poziomy glukozy i tryptofanu, jednak wyniki te należy traktować jako eksploracyjne, wymagające dalszej weryfikacji.
Wnioski: U dzieci stosujących dietę ketogeniczną stwierdzono zmiany w profilu metabolomicznym osocza w porównaniu z dziećmi na diecie podstawowej.
Słowa kluczowe: padaczka lekooporna, chromatografia gazowa sprzężona ze spektrometrią mas, profil metabolomiczny, osocze, dieta ketogeniczna.

II Sesja Młodych Naukowców

Marek Kruczek[1]; Dorota Gumul[1]; Anna Areczuk[1]
[1] Katedra Technologii Węglowodanów i Przetwórstwa Zbóż, Wydział Technologii Żywności, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie,
ul. Balicka 122, 30-149 Kraków, Polska, marek.kruczek@urk.edu.pl

WPŁYW CZĘŚCIOWEGO ZASTĄPIENIA MARGARYNY MALTODEKSTRYNĄ NA JAKOŚĆ CIASTEK KRUCHYCH

Częściowe zastępowanie tłuszczu w ciastkach kruchych wymaga zachowania odpowiednich właściwości fizycznych i sensorycznych produktu. Maltodekstryna może pełnić funkcję zamiennika części tłuszczu, wpływając na strukturę i jakość wypieków.

Celem niniejszej pracy była ocena właściwości fizycznych i jakości sensorycznej ciastek kruchych, w których część margaryny zastąpiono maltodekstryną.

Przygotowano próbę kontrolną oraz pięć wariantów ciastek, w których maltodekstryną zastąpiono odpowiednio 5, 10, 15, 20 i 25% masy margaryny. Ciastka wypiekano w temperaturze 210°C przez 12 minut. Oceniono objętość w przeliczeniu na 100 g produktu, barwę, właściwości teksturalne oraz jakość sensoryczną w skali pięciopunktowej.

W porównaniu z kontrolą, objętość ciastek zmniejszyła się o 7,1%, 3,2%, 1,0% i 0,5% przy zastąpieniu odpowiednio 5%, 10%, 15% i 20% margaryny maltodekstryną, natomiast przy 25% wzrosła o 0,6%. Maksymalna siła cięcia była niższa o około 30% i 17% w wariantach 5% i 10%, zbliżona do kontroli przy 15%, a przy 20% i 25% wyższa odpowiednio o około 10% i 20%. Jasność barwy (L*) wzrosła o 1,3–5,4% w wariantach 5–20%, natomiast przy 25% zmniejszyła się o 1,7%. Wartości parametrów a* i b* były niższe od kontroli odpowiednio o 33,1–55,5% i 6,8–15,7%, wskazując na mniejszy udział czerwieni i żółci. Wszystkie warianty modyfikowane uzyskały niższe oceny sensoryczne niż kontrola. Najwyżej oceniono wariant 15% - 3,91 pkt, czyli o 5,3% mniej niż kontrolę, a najniżej wariant 25% - 3,24 pkt, czyli o 21,5% mniej.

Wariant z zastąpieniem 15% margaryny maltodekstryną stanowił najkorzystniejszy kompromis spośród badanych receptur modyfikowanych: zachował objętość i siłę cięcia zbliżone do kontroli oraz uzyskał najwyższą ocenę sensoryczną. Większy poziom zastąpienia wiązał się ze wzrostem siły cięcia i niższymi ocenami sensorycznymi.

Słowa kluczowe: ciastka, maltodekstryna, tłuszcz, tekstura, sensoryka

Tu będzie fragment WSTĘPU



ISBN 978-83-969665-2-0