

EWELINA SIEPKA, ŁUKASZ BOBAK, WITOLD GŁADKOWSKI

## CHARAKTERYSTYKA AKTYWNOŚCI BIOLOGICZNEJ FOSFOLIPIDÓW ŻÓŁTKA

### Streszczenie

Jaja są źródłem cennych składników pokarmowych, charakteryzujących się dużym stopniem przyswajalności. Lipidy stanowią ok. 60 % suchej masy żółtka jaja i składają się w 62 % z triacylogliceroli, w 33 % z fosfolipidów, a cholesterolu jest w nich mniej niż 5 %. Profil kwasów tłuszczowych frakcji fosfolipidów wykazuje wyższy stopień nienasycenia niż frakcji triacylogliceroli. Ponadto fosfolipidy, które są składnikami błon komórkowych, wykazują pozytywny wpływ na układ sercowo-naczyniowy, obniżają poziom cholesterolu, zmniejszają syntezę triacylogliceroli, hamują agregację płytek i obniżają ciśnienie krwi. Spożycie fosfatydylocholin wpływa na zwiększenie poziomu choliny w osoczu i w mózgu oraz na przyspieszenie neuronalnej syntezy acetylocholin, będącej neuroprzekaznikiem. Jednocześnie jaja projektowane, pozyskane od niosek żywionych mieszankami paszowymi wzbogaconymi m.in. w algi morskie i olej lniany, są również źródłem wielonienasyconych kwasów tłuszczowych, w skład których wchodzi kwas z rodziny *n-3* (ALA, EPA, DHA) i *n-6* (LA, ARA).

**Słowa kluczowe:** jaja, wielonienasycone kwasy tłuszczowe, fosfolipidy, lecytyna

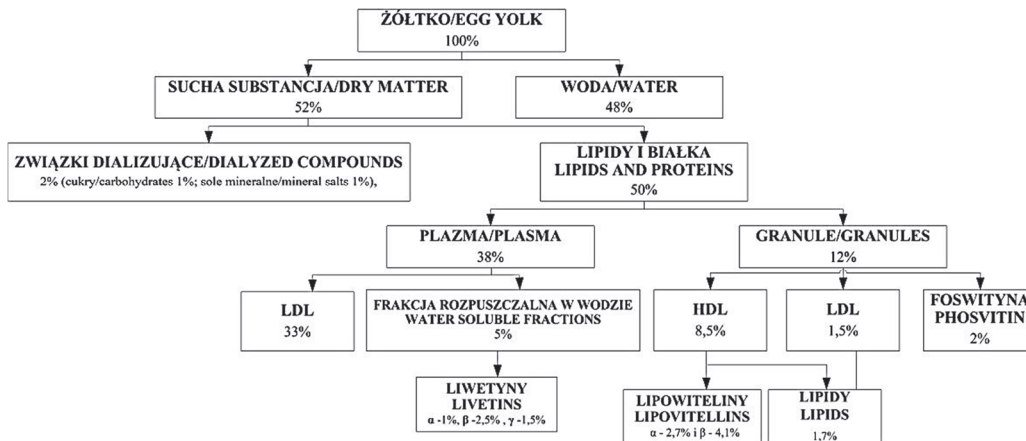
### Wprowadzenie

Żółtko jest pseudoplastyczną nienewtonowską cieczą składającą się ze skomplikowanego układu zemulgowanych kompleksów białkowo-lipidowych. Podczas procesu ultrawierwienia z żółtka wyodrębniany jest mocno upakowany sediment (tzw. warstwa granularna – granule, stanowiące 19 ÷ 23 % s.m. żółtka) oraz niemal przezroczysty supernatant o żółtawym zabarwieniu (plazma, stanowiąca 38 % s.m. żółtka). Frakcja granularna zawiera 56 % suchej masy, w tym 34 % lipidów, 60 % białek i 6 % związków mineralnych. Związki zawarte w granulach występują w postaci złożonych kompleksów, spośród których 70 % stanowią frakcje  $\alpha$  i  $\beta$ -lipowitelinowe,

---

*Dr inż. E. Siepka, dr inż. Ł. Bobak, Katedra Technologii Surowców Zwierzęcych i Zarządzania Jakością, dr inż. W. Gładkowski, Katedra Chemii, Wydz. Nauk o Żywności, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, ul. Chelmońskiego 37/41, 51-630 Wrocław. Kontakt: ewelina\_sieпка@yahoo.com*

tworzące frakcję o dużej gęstości – HDL, 12 % to frakcja LDL (o małej gęstości) i 16 % to beztłuszczowy fosfoproteid – foswityna (rys. 1) [2, 5, 11, 12, 32, 47, 51, 61, 62].



Rys. 1. Frakcjonowanie żółtka jaja

Fig. 1. Fractionation of egg yolk

Źródło: / Source: [62]

Plazma, stanowiąca 38 % masy żółtka, zawiera 50 % suchej masy, w tym około 80 % to lipidy, 18 % – białka i 2 % – związki mineralne. Głównym składnikiem plazmy są frakcje LDL (85 %) oraz liwetyny (15 %), globularne białka beztłuszczowe, które w swoim składzie zawierają frakcje  $\alpha$ ,  $\beta$  i  $\gamma$  [33, 43].

### Żółtko jaja jako źródło owolipidów

Pod względem biologicznym żółtko stanowi źródło substancji odżywczych dla rozwijającego się zarodka. Natomiast w odniesieniu do wykorzystania jaj w żywieniu człowieka stanowi ono źródło jednych z najłatwiej przyswajalnych bioskładników w przyrodzie. Żółtko jest bogate w takie substancje odżywcze, jak: proteiny, lipidy, w tym fosfolipidy, witaminy itp. [62]. Sucha masa żółtka stanowi około 50 %, a w jej skład wchodzi proteiny i lipidy występujące odpowiednio w ilości: 16 i 32 %, natomiast związki mineralne i węglowodany stanowią po około 1 %. We frakcji proteinowej oznaczane są liwetyny, foswityna oraz lipoproteidy, które stanowią odpowiednio: 2,5, 3,5 i około 10 % [2].

Lipidy są wydajnym źródłem energii metabolicznej – dostarczają z każdego grama substancji około 9 kcal energii (37,7 kJ/g), ponadto są bogatym źródłem substancji o dużej wartości biologicznej i odżywczej, w zależności od ilości i rodzaju kwasów tłuszczowych, wchodzących w ich skład [4]. Połączone z białkami tworzą lipoproteiny, dzięki czemu są istotnym składnikiem komórek (mitochondria). Błony biologiczne

i osłonki mielinowe włókien nerwowych zbudowane są w dużej mierze z lipidów (fosfolipidów i cholesterolu). Cholesterol pełni funkcję regulacyjną, bierze udział w syntezie niektórych hormonów sterydowych, witamin A i D, glikozydów oraz kwasów żółciowych [36, 54].

Surowiec jajczarski jest źródłem lipidów, których skład znacząco różni się od występujących w roślinach. Jaja są bogatsze w wielonienasycone kwasy tłuszczowe, zwłaszcza z grupy *n-3*, o ważnym znaczeniu dla rozwoju i utrzymania dobrej kondycji całego organizmu [64].

Na przestrzeni dziejów lipidy pozostawały na uboczu zainteresowań naukowców zaabsorbowanych badaniami węglowodanów i białek. Jedną z przyczyn było przekonanie o ich biologicznej bierności. Obecnie naukowcy na całym świecie poświęcają się badaniom nad modyfikacjami i produkcją fosfolipidów strukturyzowanych. Obiecujące wydają się badania potwierdzające ich charakter aplikacyjny, m.in. w suplementacji diety czy farmakologii [65].

### Fosfolipidy

Głównymi fosfolipidami izolowanymi z żółtka jaj kurzych są: fosfatydylocholina PC (nazwa zwyczajowa – lecytyna), fosfatydyloetanolamina PE (nazwa zwyczajowa – kefalina), lizylofosfatydylocholina LPC wraz ze sfingomieliną SM oraz fosfatydyloinozytol PI, fosfatydyloseryna PS i difosfatydyloglicerol (nazwa zwyczajowa – kardiolipina). Wymienione fosfolipidy stanowią odpowiednio [%]: 66 ÷ 76, 15 ÷ 24 oraz 3 i 6 ogólnej zawartości fosfolipidów żółtka. Wymienione fosfolipidy stanowią 31,8 % frakcji tłuszczowej żółtka jaja kurzego (tab. 1).

Tabela. 1. Skład frakcji lipidowej żółtka jaja kurzego  
Table. 1. Composition of lipid fraction in chicken egg yolk

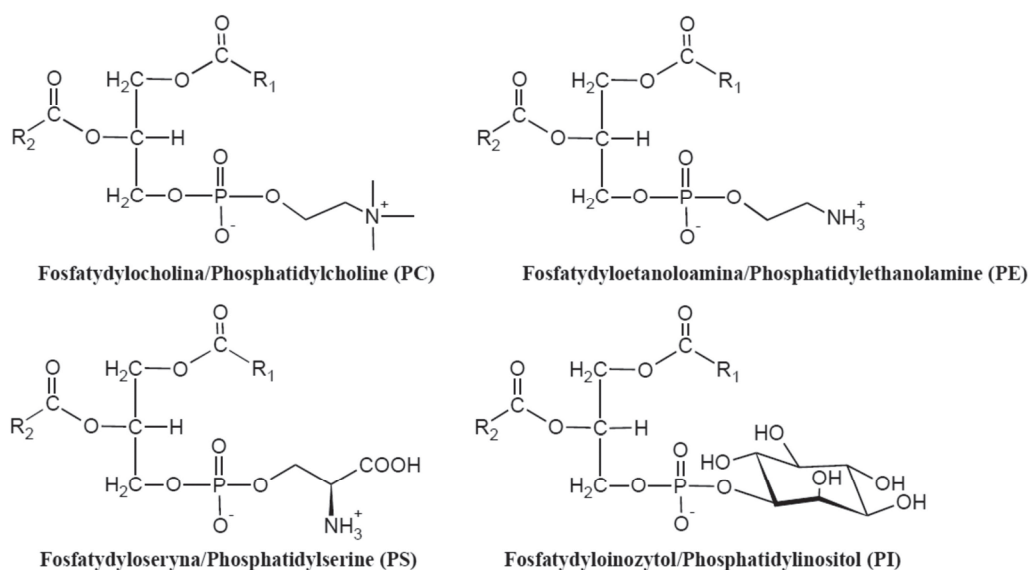
Wyszczególnienie / Specification	Udział procentowy / Percent content
Triacyloglicerole / Triglycerides	58,1
Mono- i diacyloglicerole / Mono- and diglycerides	5
Wolne kwasy tłuszczowe / Free fatty acids	0,7
Estry cholesterolu / Esters of cholesterol	0,4
Cholesterol / Cholesterol	4
Fosfolipidy / Phospholipids	31,8

Źródło: / Source: [62]

Obecność aktywnych biologicznie kwasów z grup *n-3* i *n-6*, w których wiązanie podwójne znajduje się odpowiednio przy 3. i 6. atomie węgla, licząc od terminalnej grupy metylowej, jest niezbędna do prawidłowego funkcjonowania organizmu. Należy zauważyć, że lipidy jaja charakteryzują się stosunkowo małą zawartością nasyconych i dużą zawartością monoenowych i polienowych kwasów tłuszczowych. Do podstawowych nasyconych kwasów tłuszczowych jaja należą: kwas palmitynowy (C16:0) i stearynowy (C18:0) [17]. Kwas palmitynowy wykazuje działania hipercholesterolemiczne, drugi zaś jest uważany za biologicznie obojętny [48].

Do biologicznie najważniejszych kwasów tłuszczowych lipidów jaja zalicza się: linolowy (C18:2, *n-6*, LA), linolenowy (C18:3, *n-3*, ALA), eikozapentaenowy (C20:5, *n-3*, EPA), dokozaheksaenowy (C22:6, *n-3*, DHA). Kwas linolowy jest substratem w biosyntezie innych kwasów z grupy *n-6* o dłuższych łańcuchach i większej liczbie wiązań podwójnych, np. arachidonowego (C20:4, *n-6*, ARA) i innych [4].

Udowodniono, że skład lipidów żółtka determinowany jest czynnikami genetycznymi, wiekiem i utrzymaniem niosek oraz, co bardzo istotne, sposobem ich żywienia [15, 28]. Poprzez odpowiednią modyfikację składu paszy można kształtować skład chemiczny żółtka jaja, a w szczególności profil kwasów tłuszczowych, w tym zawartość wielonienasyconych kwasów tłuszczowych – WNKT z grupy *n-3* [31].



Rys. 2. Struktura wybranych fosfolipidów

Fig. 2. Chemical structure of some selected phospholipids

Opracowanie własne na podstawie: / The authors' own study based on: [29, 69]

Niezwykle cennym składnikiem żółtka jaja są fosfolipidy pełniące podstawowe funkcje w wielu procesach życiowych (rys. 2) [42]. Reszty kwasów tłuszczowych występujące w fosfolipidach to zazwyczaj jednostki C12 - C20. Preferencyjnie grupy acylowe połączone wiązaniem estrowym z atomem C1 w pozycji *sn*-1 są w większości nasycone, a w pozycji *sn*-2 – nienasycone. Grupa fosforanowa przy atomie węgla C3 jest połączona wiązaniem estrowym z aminoalkoholem – choliną (w przypadku lecytyny) lub etanoloaminą (w przypadku kefaliny) [23, 36, 52].

Powszechnie obecne w tkankach fosfolipidy są głównym składnikiem błon komórkowych (40 %). Mają długie niepolarne „ogony” związane z polarną jonową „głową” (grupą fosforanową). Błony komórkowe składają się głównie z fosfoglicerydów ułożonych w podwójną warstwę lipidową o grubości około 50 Å (5 nm). Hydrofobowe ogony agregują wewnątrz warstwy podwójnej w sposób podobny do tego, w jaki cząsteczki mydła tworzą micelle. Taka warstwa podwójna stanowi efektywną barierę dla przenikania wody, jonów i innych polarnych składników do wnętrza i na zewnątrz komórki [36].

### **Fosfatydylocholina (lecytyna – PC)**

Fosfatydylocholina (rys. 2) należy do fosfolipidów, w których reszta fosforanowa połączona jest wiązaniem estrowym z choliną. Stanowi około 40 % ogólnej ilości lipidów błonowych występujących w komórkach wyższych roślin i zwierząt [68, 22].

Potwierdzono pozytywny wpływ fosfolipidów, w tym fosfatydylocholiny (PC), na choroby zwyrodnieniowe wątroby, serca, naczyń krwionośnych, układu nerwowego i pokarmowego [8, 14, 21, 26]. Wspomaga ona przemianę materii, jest istotnym elementem mózgu i tkanki nerwowej, uczestniczy w ochronie ścian żołądka. Ponadto bierze udział w opóźnianiu procesów starzenia, wspomaga wykorzystanie witamin rozpuszczalnych w tłuszczach oraz usprawnia krążenie krwi [57]. Jednym z najbardziej istotnych zagadnień jest udział lecytyny w prawidłowym funkcjonowaniu układu nerwowego. Będąc źródłem choliny, wchodzącej w skład osłonek mielinowych włókien nerwowych, lecytyna pobudza układ nerwowy, wzmacniając zdolność koncentracji i zapamiętywania. Niedobór choliny łączony jest również z chorobą Alzheimera. W literaturze przedmiotu wskazuje się na efektywne stosowanie lecytyny w zwiększeniu koncentracji i pamięci u dzieci schizofrenicznych i autystycznych [29, 42]. PC, oprócz choliny, zawiera również wielonienasycone kwasy tłuszczowe, które wiążąc się z cholesterolem, ułatwiają jego transport i usuwanie z organizmu. Wpływa także na rozpuszczalność cholesterolu w żółci, chroniąc ją przed tworzeniem się kamieni żółciowych. Działanie lecytyny wpływa korzystnie na zmniejszenie ryzyka wystąpienia miażdżycy i związanych z nią schorzeń sercowo-naczyniowych [35, 53]. Niedobór choliny w pożywieniu może powodować akumulację lipidów w wątrobie. Lecytyna skutecznie wpływa na zmniejszenie zaburzeń sprawności seksualnej mężczyzn poprzez

zmniejszenie przerostu gruczołu krokowego ( prostaty). Ponadto PC i cholina są niezbędne w okresie prenatalnym, gdyż podtrzymują dynamikę wzrostu płodu [10].

Fracja fosfolipidowa żółtka w niemal 75 % składa się z lecytyny, co jest wartością ponad dwukrotnie wyższą niż zawartość PC w fosfolipidach roślinnych. W składzie lecytyny jaja w pozycji *sn-1* dominują kwasy: palmitynowy, stearynowy, oleinowy, linolowy i linolenowy, w pozycji *sn-2* kwasy: oleinowy, linolowy, linolenowy, arachidonowy i dokozaheksaenowy. W fosfolipidach pozyskiwanych z surowca roślinnego nieoznaczane są nienasycone kwasy tłuszczowe o łańcuchach dłuższych niż jednostki osiemnastowęglowe [23, 63, 64, 65, ]. Ponadto, handlowe preparaty lecytyny sojowej nie mogą być stosowane przez grupę osób uczulonych na soję i sojowe preparaty lecytynowe. Fosfolipidy z jaj stanowią w tym względzie atrakcyjną alternatywę.

### **Fosfatydyloetanolamina (kefalina – PE)**

Fosfatydyloetanolamina (rys. 2) to kolejny, bardzo istotny fosfolipid żółtka jaja, którego reszta fosforanowa zestryfikowana jest etanolaminą. Proporcja lecytyny do kefaliny w jajach wynosi w zależności od rodzaju jaja (czynniki genetyczne, wiek, utrzymanie i sposób żywienia niosek) 4 : 1 ÷ 2 : 1. Kefalina, podobnie jak lecytyna, uczestniczy w budowie błon komórkowych organizmów, występuje jednak w mniejszej ilości. Wyjątkiem są błony komórkowe bakterii, w których stanowi główny składnik. Kwasy tłuszczowe zestryfikowane w cząsteczce kefaliny wykazują wyższy stopień nienasylenia łańcuchów węglowych kwasów tłuszczowych w porównaniu z kwasami zawartymi w lecytynie. W pozycji *sn-2* najczęściej występują w nich kwasy: stearynowy, oleinowy, linolowy, arachidonowy i dokozaheksaenowy. W pozycji *sn-1* dominują natomiast kwasy krótkołańcuchowe i nasycone: palmitynowy, stearynowy, oleinowy, linolowy, linolenowy [69].

### **Fosfatydyloinozytol (PI)**

Fosfolipidy inozytolowe (rys. 2) to glicerofosfolipidy błonowe, pełniące funkcję budulcową błon oraz spełniające funkcję substancji macierzystych cząstek biologicznie czynnych, o charakterze wtórnych przekaźników. W pozycji *sn-1* glicerolu zawarty jest kwas stearynowy, natomiast w *sn-2* – kwas arachidonowy. Fosfatydyloinozytol błonowy jest fosfolipidem, z którego powstają wtórne przekaźniki informacji hormonalnej [69].

### **Fosfatydyloseryna (PS)**

Fosfatydyloseryna (rys. 2) to serynowa pochodna fosfolipidów, która pośrednio uczestniczy w syntezie nukleotydów (puryn i pirymidyn) i jest istotna w fizjologii

mózgu. Stanowi substrat do wytworzenia lecytyny, sfingozyny i acetylocholino. Jest niezbędnym składnikiem wewnętrznej warstwy błon plazmatycznych [29].

### **Difosfatydyloglicerol (kardiolipina)**

Kardiolipina swoją nazwę zawdzięcza temu, że po raz pierwszy, została wyizolowana z mięśnia sercowego. Jest jednym z podstawowych składników błony mitochondrialnej (stanowi 20 % udziału lipidów), niezbędnym do optymalnego funkcjonowania wielu enzymów, które są zaangażowane w metabolizm energetyczny mitochondriów [69].

### **Kwasy tłuszczowe *n-3* (ALA, EPA, DHA)**

Sposób odżywiania i aktywność fizyczna determinują utrzymanie organizmu w dobrej kondycji. Odpowiednio dobrana dieta wpływa na rozwój fizyczny i intelektualny człowieka. Tryb życia i dieta obfita w żywność wysoko przetworzoną oraz bogata w tłuszcze nasycone spowodowały, że w XXI wieku coraz więcej ludzi cierpi na skutki tzw. chorób cywilizacyjnych. Aby zmienić tę sytuację, należy pamiętać o ograniczeniu tłuszczów nasyconych i wzbogaceniu diety dzieci i osób dorosłych w niezbędne nienasycone kwasy tłuszczowe (NNKT) [53].

Do najbardziej pożądaných kwasów tłuszczowych należą kwasy z grupy *n-3* [9, 45]. Są one niezbędne do prawidłowego funkcjonowania organizmu człowieka, który nie potrafi ich sam syntetyzować, dlatego powinny być dostarczane w pożywieniu. [38]. Ich źródło w diecie stanowią: oleje roślinne, tłuste ryby morskie, kryl, algi oraz jaja, szczególnie te „wzbogacone” [7, 9, 16, 34, 37, 40, 55]. Kwasy EPA i DHA (eikozapentaenowy i dokozaheksaenowy) znajdują się w tłuszczu ryb morskich, jak: łosoś, śledź, makrela, sardynki, halibut, tuńczyk. Źródłem ALA (kwas  $\alpha$ -linolenowy) są: siemię lniane i olej lniany, portulaka warzywna, olej z nasion pachnotki, orzechy włoskie i olej z nich pozyskany. Najlepsze efekty zdrowotne powodują: EPA i DHA. ALA z siemienia lnianego i innych surowców roślinnych musi być przekształcony w organizmie do EPA i DHA. Niestety nie każdy organizm jest zdolny do efektywnej konwersji ALA (przykładem są wcześniaki, ludzie chorzy na cukrzycę i padaczkę) [27, 38].

Dieta większości społeczeństwa nie jest urozmaicona i udział takich produktów, jak olej lniany i ryby, jest w niej znikomy [33]. W przypadku kobiet w ciąży i karmiących oraz małych dzieci istnieje niebezpieczeństwo związane z możliwością zatrucia metalami ciężkimi (rtęć, ołów, kadm), pestycydami, dioksynami, polichlorowanymi bifenyłami (PCBs) po konsumpcji niektórych gatunków ryb [44, 49, 58, 60, 19]. Inaczej kształtuje się sytuacja w przypadku jaj. Zwykle dobrze tolerowane przez organizmy dzieci i dorosłych, są jednym z najbardziej powszechnych produktów spożywczych na świecie [45].

Dowiedziano pozytywnego wpływu kwasów z rodziny *n-3* na stany zapalne. Zapobiegają one chorobom przewlekłym, między innymi chorobom serca i artretyzmowi [34]. Kwasy te skumulowane są w tkance mózgowej, stąd ich udział w diecie determinuje prawidłowe funkcjonowanie mózgu [1, 68]. DHA w dużych ilościach występuje w siatkówce oka i w naczyniach krwionośnych. Polskie Towarzystwo Pediatryczne oraz Polskie Towarzystwo Badań nad Miażdżycą zalecają w codziennym żywieniu łączne spożycie kwasów EPA i DHA od 1,0 ÷ 1,5 g. Rozwój centralnego układu nerwowego w największym stopniu następuje do 3. roku życia [66]. Istnieje ryzyko wad wzroku i nerwów u dzieci, które nie otrzymują wystarczającej ilości kwasów *n-3* w okresie płodowym. Objawami niedoboru kwasów *n-3* u dorosłych mogą być m.in. chroniczne zmęczenie, słaba pamięć, przesuszona cera, problemy z sercem, zaburzenia nastroju, zaburzenia krążenia, depresja [24, 30, 41, 46].

### **Kwasy tłuszczowe *n-6* (AA, LA, GLA)**

Kolejną grupą wielonienasyconych niezbędnych kwasów tłuszczowych (WNKT) są kwasy z rodziny *n-6*. Prekursorem pozostałych związków z tej grupy dostarczanym z pożywieniem jest kwas linolowy. Razem z kwasami tłuszczowymi z grupy *n-3* mają one wpływ na prawidłowe funkcjonowanie mózgu, wzrost i rozwój ustroju, pomagają w stymulacji regeneracji skóry i włosów, utrzymaniu zdrowych kości, prawidłowej przemiany materii i odpowiedniego stanu układu rozrodczego [3, 6, 25, 59].

W prawidłowo zbilansowanej diecie zachowana jest odpowiednia proporcja kwasów *n-6* do *n-3*. W czasach naszych przodków proporcja ta wynosiła około 1, obecnie w krajach wysoko uprzemysłowionych waha się w granicach 14 ÷ 25, co zostało powiązane przez naukowców z otyłością i zwiększonym ryzykiem zawału i innych dolegliwości.

Opisane kwasy z rodziny *n-3* zmniejszają stan zapalny w organizmie, natomiast z literatury wynika, że niektóre kwasy z rodziny *n-6* (linolowy, arachidonowy) działają prozapalnie oraz przyczyniają się do zespołu odruchowej dystrofii współczulnej. Dzieje się tak wówczas, gdy w organizmie znajduje się zbyt duża ilość kwasu AA. Zachowanie odpowiednich proporcji pomiędzy kwasami z grupy *n-3* i *n-6* w codziennej diecie jest niezbędne do utrzymania prawidłowego funkcjonowania organizmu [29].

Kwas linolowy jest prekursorem kwasu gamma-linolenowego (GLA) w organizmie, który z kolei może być przekształcany do kwasu arachidonowego (AA). GLA znajduje się w kilku mniej popularnych olejach roślinnych, w tym w oleju: z wiesiołka (EPO – *ang. Evening Primrose Oil*), z ogórecznika i z nasion czarnej porzeczki [67].

Kwasy *n-6* pomagają w leczeniu neuropatii cukrzycowej, uśmierając ból nerwów, mogą być pomocne w uśmierzaniu dokuczliwych objawów reumatoidalnego zapalenia stawów, zmniejszając ból, obrzęk i sztywność poranną [10]. Niektóre źródła wskazują na pozytywny wpływ na alergię, jednak informacje nie są jednoznaczne.



Wyniki badań dotyczące wpływu kwasów *n-6* na raka piersi są bardzo różne: od takich, w których stwierdzono pozytywny wpływ GLA przy podaniu choremu leku (tamoksifen), po takie, z których wynika, że kwasy *n-6* są stymulatorami rozwoju raka [37, 56]. Istnieją dowody na to, że GLA w połączeniu z DHA i EPA może zmniejszać wysokie ciśnienie krwi, dokuczliwe objawy menopauzy oraz stwardnienia rozsianego. Inne sugerują pozytywny wpływ GLA na PMS – zespół napięcia przedmiesiączkowego [13, 18, 39, 50].

Dla utrzymania dobrego stanu zdrowia należy zachować umiar i równowagę spożywanych bioskładników, w tym pomiędzy kwasami tłuszczowymi z rodziny *n-6* i *n-3*. Wskaźnik ten powinien mieścić się w zakresie od 2 : 1 ÷ 4 : 1, niektórzy sugerują nawet niższe współczynniki. Przeciętna dieta dostarcza dużo kwasów tłuszczowych *n-6*, dlatego przyjmowanie dodatkowych suplementów nie jest konieczne. Osoby chore na padaczkę nie powinny przyjmować kwasów *n-6*, gdyż może to spowodować drgawki. Nie zaleca się ich spożywania również kobietom w ciąży, gdyż mogą uszkodzić płód i wywołać poród [20].

Istnieje wiele doniesień o zależności między ilością spożytego cholesterolu (który znajduje się w jajach) a chorobami serca. Nie ulega wątpliwości, że dieta bogata w nasycone tłuszcze często prowadzi do podniesienia poziomu cholesterolu w osoczu krwi, przynajmniej w przypadku ludzi z nadwagą, prowadzących siedzący tryb życia. I przeciwnie, dieta uboga w tłuszcze nasycone i bogata w tłuszcze nienasycone (WNKT) prowadzi do obniżenia poziomu cholesterolu w osoczu krwi. Wykazano, że poziom cholesterolu powyżej 300 mg/ml (prawidłowa wartość 150 ÷ 200 mg/ml) ma związek z częstszym występowaniem arteriosklerozy, jednej z chorób serca, w której złogi cholesterolu odkładają się na wewnętrznej powierzchni ścian tętnic wieńcowych, blokując dopływ krwi do mięśnia sercowego [36]. Jedno przeciętne żółtko zawiera około 210 mg cholesterolu (12 mg/g żółtka). Dowiedziono, że schorzenia naczyń krwionośnych prowadzące m.in. do zawałów serca nie mają bezpośredniego związku z ilością cholesterolu dostarczanego w pokarmach, w tym w jajach i spożycie nawet dwóch jaj dziennie nie zaburza poprawnego funkcjonowania organizmu. Wynika to z obecności odpowiedniej ilości (proporcji) polienowych kwasów tłuszczowych wpływających regulująco na poziom cholesterolu [35].

### Podsumowanie

Obserwuje się intensywne poszukiwania naturalnych produktów do pozyskiwania bioaktywnych substancji z wykorzystaniem ich do produkcji suplementów diety, biofarmaceutyków, kosmetyków itd. Najlepszym biosurowcem wydają się być jaja, zarówno kurcze, jak i przepiórcze. Ze względu na dużą zawartość fosfatydylocholiny, jako źródła choliny będącej prekursorem acetylocholiny oraz niezbędnych nienasyconych kwasów tłuszczowych, fosfolipidy izolowane z żółtka jaj mogą stanowić dobrą alterna-

tywę dla fosfolipidów roślinnych. Biorąc pod uwagę zawartość składników odżywczych w jajach, w tym wzbogaconych, można uważać ten surowiec za żywność prozdrowotną - nutraceutyk nowej generacji.



HUMAN CAPITAL  
NATIONAL COHESION STRATEGY



DOLNY  
ŚLĄSK

EUROPEAN UNION  
EUROPEAN  
SOCIAL FUND



*Artykuł współfinansowany jest przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego*

### Literatura

- [1] Aben A., Danckaerts M.: Omega-3 and omega-6 fatty acids in the treatment of children and adolescents with ADHD. *Tijdschr. Psychiatr.*, 2010, **52** (2), 89-97.
- [2] Ahn D., Ko K.: Economical separation of value-added components from chicken egg yolk. In: *The Amazing Egg*. Ed. Sim J. S., Sunwoo H. H. University of Alberta, Edmonton, Canada, 2006.
- [3] Anandan C., Nurmatov U., Sheikh A.: Omega 3 and 6 oils for primary prevention of allergic disease: systematic review and meta-analysis. *Allergy*, 2009, **64** (6), 840-848.
- [4] Ansari R., Azarbajejani A., Ansari S., Asgari S., Gheisari A.: Production of egg enriched with omega-3 fatty acids in laying hens. *ARYA J.*, 2006, **1** (4), 242-246.
- [5] Bobak Ł., Trziszka T., Rój E.; Grzęda K., Kaźmierska M., Kostrzewa D.: Sposób otrzymywania preparatu lecytyny z żółtek jaj, zwłaszcza kurzych. Zgłoszenie patentowe P - 389655 z dn. 24 listopada 2009.
- [6] Boelsma E., Hendriks H.F. Roza L.: Nutritional skin care: health effects of micronutrients and fatty acids. *Am. J. Clin. Nutr.*, 2001, **73** (5), 853-864.
- [7] Bourre J.M., Galea F.: An important source of omega-3 fatty acids, vitamins D and E, carotenoids, iodine and selenium: a new natural multi-enriched egg. *J. Nutr. Health Aging*, 2006, **10** (5), 371-376.
- [8] Cabezas D.M., Diehl B.W.K., Tomas M.C.: Sunflower lecithin: application of fractionation process with absolute ethanol. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 2009, **86**, 189-196.
- [9] Cachaldora P., Garcia-Rebollar P., Alvarez C., Mendez J., De Blas J.C.: Double enrichment of chicken eggs with conjugated acid and n-3 fatty acids through dietary supplementation. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 2008, **144**, 315-326.
- [10] Carillo S., Lopez E., Casa M., Avila E., Castillo R.M., Carranco M.E., Calvo C., Perez-Gil F.: Potential use of seaweeds in the laying hen ration to improve the quality of n-3 fatty acid enriched eggs. *J. Appl. Phycol.*, 2008, **20**, 721-728.
- [11] Castellani O., Belhomme C., David-Briand E., Guérin-Dubiard C., Anton M.: Oil-in-water emulsion properties and interfacial characteristics of hen egg yolk phosvitin. *Food Hydrocoll.*, 2006, **20**, 35-43.
- [12] Castellani O., Guérin-Dubiard C., David-Briand E., Anton M.: Influence of physicochemical conditions and technological treatments on the iron binding capacity of egg yolk phosvitin. *Food Chem.*, 2004, **85**, 569-577.
- [13] Wu C.C., Huang M.Y., Kapoor R., Chen C.H., Huang Y.S.: Metabolism of omega-6 polyunsaturated fatty acids in women with dysmenorrhea. *Asia Pac. J. Clin. Nutr.*, 2008, **17** (S1), 216-219.

- [14] Chattipakorn N., Settakorn J., Petsophonsakul P.: Cardiac mortality is associated with low levels of omega-3 and omega-6 fatty acids in the heart of cadavers with a history of coronary heart disease. *Nutr. Res.*, 2009, **29** (10), 696-704.
- [15] Cherian G.: Egg quality and yolk polyunsaturated fatty acid status in relation to broiler breeder hen age and dietary n-3 oils. *Poultry Science*, 2008, **87**, 1131-1137.
- [16] Cho E., Hung S., Willet W.C., Spiegelman D., Rimm E.B., Seddon J.M.: Prospective study of dietary fat and the risk of age-related macular degeneration. *Am. J. Clin. Nutr.*, 2001, **73** (2), 209-218.
- [17] Chojnacka A., Gładkowski W., Kielbowicz G., Wawrzęńczyk C.: Enzymatic enrichment of egg-yolk phosphatidylcholine with  $\alpha$ -linoleic acid. *Biotechnol. Lett.*, 2009, **31**, 705-709.
- [18] De la Rosa M.: Can purified omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids supplementation act blood pressure levels in untreated normal-high blood pressure subjects with hypertriglyceridemia. *Pharmacol. Pharmacy*, 2012, **3**, 234-239.
- [19] Dopheide J.A., Pliszka S.R.: Attention-deficit-hyperactivity disorder: an update. *Pharmacotherapy*, 2009, **29** (6), 656-79.
- [20] Ehrlich S.D.: Omega-3 fatty acids. [online] University of Maryland, Medical Center, 2011, Dostęp w Internecie [29.01.2014]: <http://www.umm.edu/altmed/articles/omega-3-000316.htm>
- [21] Geerling B.J., Badart-Smook A., van Deursen C.: Nutritional supplementation with N-3 fatty acids and antioxidants in patients with Crohn's disease in remission: effects on antioxidant status and fatty acid profile. *Inflamm. Bowel Dis.*, 2000, **6** (2), 77-84.
- [22] Gładkowski W., Chojnacka A., Kielbowicz G., Pisarski B., Trziszka T., Wawrzęńczyk C.: Charakterystyka frakcji fosfolipidowych izolowanych z żółtek jaj pochodzących od kur Lohmann Brown i zielononóżki kuropatwanej. *Przem. Chem.*, 2009, **88** (5), 432-435.
- [23] Gładkowski W., Kielbowicz G., Chojnacka A., Gil M., Trziszka T., Dobrzański Z., Wawrzęńczyk C.: Fatty acid composition of egg yolk phospholipid fractions following feed supplementation of Lohmann Brown hens with humic-fatty preparations. *Food Chem.*, 2011, **126**, 1013-1018.
- [24] Green K.N., Steffan J.S., Martinez-Coria H., Schreiber S.S., Thompson L.M., LaFerla F.M.: Nicotinamide, an inhibitor of the sirtuins, reduces tau pathology and restores cognition in Alzheimer's disease transgenic mice. *J. Neurosci.*, 2008, **28**, 11500-10.
- [25] Harris W.: Omega-6 and omega-3 fatty acids: partners in prevention. *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care*, 2010, **13** (2), 125-9.
- [26] Harris W.S., Mozaffarian D., Rimm E., Kris-Etherton P., Rudel L.L., Appel L.J., Engler M.M., Engler M.B., Sacks F.: Omega-6 fatty acids and risk for cardiovascular disease a science advisory from the American Heart Association Nutrition Subcommittee of the Council on Nutrition, Physical Activity, and Metabolism; Council on Cardiovascular Nursing, and Council on Epidemiology and Prevention, *Circulation*, 2009, **119**, 902-907.
- [27] Hartweg J., Farmer A.J., Holman R.R., Neil A.: Potential impact of omega-3 treatment on cardiovascular disease in type 2 diabetes. *Curr. Opin. Lipidol.*, 2009, **20** (1), 30-38.
- [28] Jia W., Słomiński B.A., Guenter W., Humphreys A., Jones O.: The effect of enzyme supplementation on egg production parameters and omega-3 fatty acid deposition in laying hens flaxseed and canola seed. *Poultry Science*, 2008, **87**, 2005-2014.
- [29] Kidd P.M.: Omega-3 DHA end EPA for cognition, behavior, and mood: Clinical findings and structural-functional synergies with cell membrane phospholipids. *Alternative Medicine Review*, 2007, **12** (3), 207-227.
- [30] Kokoszka A.: Szansa na poprawę skuteczności leczenia schizofrenii i depresji? Przegląd wyników badań suplementacji omega 3 wielonienasyconymi kwasami tłuszczowymi. *Przewodnik Lekarza*, 2007, **9**, 20-26.

- [31] Kouba M., Mourot J.: A review of nutritional effects on fat composition of animal products with special emphasis on n-3 polyunsaturated fatty acids. *Biochimie*, 2011, **93**, 13-17.
- [32] Kovacs-Nolan J., Mine Y.: Microencapsulation for the gastric passage and controlled intestinal release of immunoglobulin Y. *J. Immun. Methods*, 2005, **296**, 199-209.
- [33] Laca A., Paredes B., Diaz M.: A method of egg yolk fractionation. Characterisation of fractions. *Food Hydrocoll.*, 2010, **24**, 434-443.
- [34] Lawlor J.B., Gaudette N., Dickson T., House J.D.: Fatty acid profile and sensory characteristics of table eggs from laying hens fed diets containing microencapsulated fish oil. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 2010, **156**, 97-103.
- [35] Marchioli R., Silletta M.G., Levantesi G., Pioggiarella R.: Omega-3 fatty acids and heart failure. *Curr. Atheroscler. Rep.*, 2009, **11** (6), 440-447.
- [36] McMurry J.: *Chemia organiczna. T. IV i V.* Wyd. Nauk. PWN, Warszawa 2003.
- [37] Mitra K., Lee J., Lee K., Kim S.: Production tactic and physicochemical properties of low  $\omega$ -6/ $\omega$ -3 ratio structured lipid synthesized from perilla and soybean oil. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 2010, **45**, 1321-1329.
- [38] Montori V., Farmer A., Wollan P.C., Dinneen S.F.: Fish oil supplementation in type 2 diabetes: a quantitative systematic review. *Diabetes Care*, 2000, **23**, 1407-1415.
- [39] Mori T.A.: Omega-3 fatty acids and blood pressure. *Cell. Mol. Biol. (Nosiy-le-grand)*, 2010, **56** (1), 83-92.
- [40] Nagakura T., Matsuda S., Shichijyo K., Sugimoto H., Hata K.: Dietary supplementation with fish oil rich in omega-3 polyunsaturated fatty acids in children with bronchial asthma. *Eur. Resp. J.*, 2000, **16** (5), 861-865.
- [41] Ohman M., Akerfeld T., Nillson I., Rosen C., Hansson L., Carlsson M., Larsson A.: Biochemical effects of consumption of eggs containing omega-3 polyunsaturated fatty acids. *Ups. J. Med. Sci.*, 2008, **113** (3), 315-324.
- [42] Palacios L.E., Wang T.: Egg-yolk lipid fractionation and lecithin characterization. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 2005, **82**, 571-578.
- [43] Pillet E., Duchamp G., Batellier F., Beaumal V., Anton M., Desherces S., Schmitt E., Magistrini M.: Egg yolk plasma replace egg yolk in stallion freezing extenders. *Theriogenology*, 2011, **78**, 105-114.
- [44] Protasowicki J., Protasowicki M., Ciereszko W., Perkowska A., Ciemiak A., Bochenek I., Brucka-Jastrzębska E., Błachuta J.: Metale ciężkie i chlorowane węglowodory w niektórych gatunkach ryb z rzeki Odry. *Rocznik Ochrony Środowiska*, 2007, **9**, 95-105.
- [45] Rizzi L., Bochicchio D., Bergellini A., Parazza P., Simoli M.: Effects of dietary microalgae. Rother lipid sources, in organicelenium and iodine on yolk n-3 fatty acid composition,elenium content and quality of eggs in laying hens. *J. Sci. Food Agric.*, 2009, **89**, 1775-1785.
- [46] Rocha Aranjó D.M., Vilarim M.M., Nardi A.E.: What is the effectiveness of the use of polyunsaturated fatty acid omega-3 in the treatment of depression. *Expert Rev. Neurother.*, 2010, **10** (7), 1117-1129.
- [47] Ryszka F., Dolińska B., Leszczyńska L., Trziszka T.: Rozdział białek żółtka jaja kurzego. *Farm. Przegł. Nauk.*, 2009, **3**, 25-28.
- [48] Samman S., Kung F.P., Carter M.L., Foster M.J., Ahmad Z.I., Phuyal J.L., Petocz P.: Fatty acid composition of certified organic, conventional and omega-3 eggs. *Food Chem.*, 2009, **116**, 911-914.
- [49] Saniewska D., Beldowska M., Beldowski J., Saniewski M., Kwaśniak J., Falkowska L.: Distribution of mercury in different environmental compartments in the aquatic ecosystem of the coastal zone of the Southern Baltic Sea. *J. Envir. Sci. - China*, 2010, **22**, 1144-1150.

- [50] Siddiqui R., Zerouga R., Wu M., Castillo A., Harvey K., Zaloga G.P., Stillwell W.: Anticancer properties of propofol docosahexaenoate and propofol-eicosapentaenoate on breast cancer cells. *Breast Cancer Research*, 2005, **7**, 645-654.
- [51] Siepka E., Bobak Ł., Trziszka T.: Frakcjonowanie żółtka w celu pozyskania preparatów wzbogaconych w substancje biologicznie aktywne. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2010, **6 (73)**, 158-167.
- [52] Sinanoglou V.J., Strati I.F., Miniadis-Meimaroglou S.: Lipid, fatty acid and carotenoid of edible egg yolks from avian species: a comparative study. *Food Chem.*, 2011, **124**, 971-977.
- [53] Skoczyńska A.: Rola lipidów w powstawaniu miażdżycy [online]. *Postępy Hig. Med. Dośw.*, 2005, **59**, 346-357. Dostęp w Internecie [29.01.2014]: [http://www.phmd.pl/pub/phmd/vol\\_59/7720.pdf](http://www.phmd.pl/pub/phmd/vol_59/7720.pdf)
- [54] Śmiechowska M., Przybyłowski P. *Chemia żywności z elementami biochemii*. Wyd. Akademii Morskiej w Gdyni, Gdynia 2004.
- [55] Souza J.G., Costa F.G.P., Quieroga R.C.R.E., Silva J.H.V., Schuler A.R.P., Goulart C.C.: Fatty acid profile of eggs of semi-heavy layers fed feeds containing linseed oil. *Brazilian J. Poultry Sci.*, 2008, **10 (1)**, 37-44.
- [56] Srivastava A., Mansel R.E., Arvind N., Prasad K., Dhar A., Chabra A.: Evidence-based management of Mastalgia: a meta-analysis of randomised trials. *Breast*, 2007, **16 (5)**, 503-512.
- [57] Stryer L.: *Biochemia*. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa 2003.
- [58] Szumiło E., Fila G., Szubska M., Meissner W., Beldowska M., Falkowska L.: Rtęć w mewach srebrzystych (*Larus argentatus*) zimujących nad Zatoką Gdańską. *Mat. II Konf. Naukowej: „Identyfikacja zagrożeń dla zdrowia człowieka”*, Gdynia, 2010, ss. 109-114.
- [59] Tartibian B., Hajizadeh Malek., Kanaley J., Sadeghi K.: Long-term aerobic exercise and omega-3 supplementation modulate osteoporosis through inflammatory mechanisms in post-menopausal women: a randomized, repeated measures study. *Nutrition Metabolism*, 2011, **8 (71)**, 1-13.
- [60] Tomza-Marciniak A., Witczak A.: Distribution of endocrine-disrupting pesticides in water and fish from the Oder river, *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, 2010, **40 (1)**, 1-9.
- [61] Trziszka T., Bobak Ł., Siepka E., Dobrzański Z., Tronina S., Tronina W.: Sposób otrzymywania preparatu fosfolipidowego z żółtka jaja, zwłaszcza kurzego oraz preparat fosfolipidowy”, *Zgłoszenie patentowe nr P.399338 [WIPO ST 10/C PL399338]* z dnia 2012-05-28.
- [62] Trziszka T.: Budowa i skład chemiczny jaja. W: *Jajczarstwo, nauka, technologia, praktyka*. Red. T. Trziszka. Wyd. AR we Wrocławiu, Wrocław 2000, ss. 147-188.
- [63] Trziszka T.: Dobrzański Z., Wykorzystanie surowca jajczarskiego do produkcji nutraceutyków i preparatów biomedycznych. Cz. I., *Polskie Drobiarstwo 2004*, **04**, 2-4.
- [64] Trziszka T.: Dobrzański Z., Wykorzystanie surowca jajczarskiego do produkcji nutraceutyków i preparatów biomedycznych. Cz. II., *Polskie Drobiarstwo 2004*, **05**, 10-11.
- [65] Trziszka T.: Nowej generacji surowiec jajczarski jako materiał do produkcji suplementów diety i preparatów biomedycznych. *Ferma Świń i Drobiu*, 2010.
- [66] Vaisman N., Kaysar N., Zaruk-Adasha Y., Pelled D., Brichon G., Zwingelstein G., Bodenec J.: Correlation between changes in blood fatty acid composition and visual sustained attention performance in children with inattention: effect of dietary n-3 fatty acids containing phospholipids. *Am. J. Clin. Nutr.*, 2008, **87**, 1170-80.
- [67] Walczewska A.: Tomasz Stępień, Dorota Bewicz-Binkowska, Emilia Zgórzyńska: Rola kwasu dokozaheksaenowego w czynności komórek nerwowych. *Postępy Hig. Med. Dośw. (online)*, 2011, **65**, 314-327.
- [68] Wiącek A.E.: Electrokinetic properties of n-tetradecane/lecithin solution emulsions. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 2007, **293**, 20-27.

[69] Żak I.: Chemia medyczna. Wyd. Śląskiej Akademii Medycznej, Katowice 2001.

## CHARACTERISTICS OF BIOLOGICAL ACTIVITY OF PHOSPHOLIPIDS IN EGG YOLK

### S u m m a r y

Eggs are a source of valuable nutrients that are characterized by a high degree of bioavailability. Lipids constitute ca. 60 % of the dry matter content in egg yolk and consist of 62 % of triglycerides, 33 % of phospholipids; the amount of cholesterol therein is less than 5 %. The profile of fatty acids in the phospholipid fraction shows a higher degree of unsaturation compared to the triacylglycerol fraction. In addition, phospholipids, which are components of cell membranes, have a positive effect on the cardiovascular system; they decrease the cholesterol level, reduce the synthesis of triacylglycerols, inhibit the platelet aggregation, and lower the blood pressure. The intake of phosphatidylcholine helps increase the level of choline in the plasma and brain as well as accelerate neuronal synthesis of acetylcholine, which is a neurotransmitter. Also, the designed eggs laid by hens fed fodder mixtures enriched with marine algae oil and linseed oil are a source of polyunsaturated fatty acids including *n*-3 fatty acids (ALA, EPA, DHA) and *n*-6 fatty acids (LA, ARA).

**Key words:** eggs, polyunsaturated fatty acids, phospholipids, lecithin 