

PAWEŁ M. PISULEWSKI

FUNKCJONALNOŚĆ PRODUKTÓW SPOŻYWCZYCH POCHODZENIA ZWIERZĘCEGO UZYSKANYCH NA DRODZE MODYFIKACJI ŻYWIENIOWEJ

Streszczenie

W artykule przedstawiono aktualne metody modyfikacji składu produktów pochodzenia zwierzęcego (mleka, mięsa i jaj), pod kątem ich zgodności ze współczesnymi zaleceniami żywieniowymi. Wymieniono metody obniżania udziału kwasów tłuszczowych nasyconych i zwiększania udziału kwasów tłuszczowych jedno- i wielonienasyconych, a także cholesterolu, w tłuszczu zwierzęcym, na drodze podawania olejów roślinnych krowom mlecznym, tucznikom, brojlerom i kurom nioskom. Równoległe i bardziej szczegółowo przedstawiono wyniki najnowszych doświadczeń poświęconych weryfikacji potencjalnych właściwości funkcjonalnych (hipocholesterolemicznych) zmodyfikowanego mleka, mięsa i jaj, w żywieniu ludzi. W konkluzji stwierdzono, że, żywieniowe metody modyfikacji składu produktów pochodzenia zwierzęcego w aspekcie ich zgodności ze współczesnymi zaleceniami żywieniowymi są efektywnym środkiem kształtowania ewidentnych cech funkcjonalnych tej żywności.

Wstęp

Powstanie i rozwój nauki o składnikach i właściwościach funkcjonalnych (prozdrowotnych) żywności, stanowiące przedmiot szeregu miarodajnych opracowań programowych [4, 10, 46], pociąga za sobą istotne zmiany w świadomości producentów żywności pochodzenia roślinnego i zwierzęcego, a także konsumentów. Zgodnie z powyższymi opracowaniami, żywność nie może być postrzegana wyłącznie jako źródło składników odżywczych służących pokryciu odpowiednich potrzeb pokarmowych człowieka. Przedmiotem zainteresowania nauki o żywności funkcjonalnej jest natomiast zdolność produktów spożywczych do pozytywnego oddziaływania na stan jego zdrowia. W ujęciu szczegółowym, żywności funkcjonalna to produkty spożywcze zawierające składniki odżywcze lub nieodżywcze, których spożycie wpływa korzyst-

nie na jedną lub więcej funkcji fizjologicznych organizmu, zapewniając optymalny stan zdrowia i zmniejszając ryzyko zmian chorobowych u człowieka. Składniki te mogą występować naturalnie lub mogą być dodane do produktu spożywczego. O funkcjonalności produktu może decydować także usunięcie składnika wpływającego niekorzystnie na organizm człowieka. Żywność funkcjonalna musi zachowywać naturalne cechy produktów spożywczych i w tej formie, na konwencjonalnym poziomie spożycia, oddziaływać efektywnie na funkcje organizmu. Ponadto, zakładane efekty funkcjonalne żywności winny podlegać obiektywnej weryfikacji eksperymentalnej.

W tym kontekście warto zwrócić uwagę na współczesne metody modyfikowania składu produktów spożywczych pochodzenia zwierzęcego na drodze żywieniowej [45]. Metody te są wyrazem nowego interdyscyplinarnego podejścia badawczego, łączącego w sobie zarówno wiedzę żywieniową, jak i technologiczną, szczególnie w odniesieniu do łańcucha podaży (ang. *food supply chain*) produktów pochodzenia zwierzęcego. Przedmiotowe metody pozwalają na uzyskanie produktów o pożądanej jakości, m.in. korzystnym składzie kwasów tłuszczowych, tj. zwiększonym udziale kwasów jedno- i wielonienasyconych w tłuszczu mleka [29], mięsa [58] i żółtku jaja kurzego [11]. Pozwalają na zwiększenie stabilności oksydacyjnej produktów zwierzęcych, m.in. tłuszczu mięsa wołowego [50] i żółtka jaja kurzego [9], poprzez podawanie zwierzętom wit. E. Omawiane metody pozwalają również na pożądane modyfikowanie składu mineralnego produktów zwierzęcych, m.in. zawartości jodu i selenu w mleku [5, 57] oraz jodu w jaju kurzym [13, 47]. Ponadto, żywienie jest często jedyną drogą pożądanej modyfikacji składu produktów pochodzenia zwierzęcego, na przykład kształtowania ich stabilności oksydacyjnej [33]. Tak uzyskane produkty, zmodyfikowane na drodze żywieniowej, są uznawane za naturalne i nie wymagają deklaracji o zastosowanych dodatkach. Spełniają one również kryteria żywności funkcjonalnej.

Warto też wskazać, że funkcjonalność produktów pochodzenia zwierzęcego, uzyskanych na drodze modyfikacji żywieniowej, zweryfikowano pozytywnie w doświadczeniach na zwierzętach modelowych i ludziach. W niniejszym opracowaniu przedstawiono wyniki wybranych prac poświęconych funkcjonalności zmodyfikowanego mleka, mięsa i jaj, w żywieniu ludzi.

Funkcjonalność zmodyfikowanego mleka

Spożycie tłuszczu mleka, charakteryzującego się wysokim udziałem nasyconych kwasów tłuszczowych (C12:0, C14:0 i C16:0), sięgającym 70% ogólnej sumy tych kwasów, a także będącego źródłem cholesterolu [42], jest postrzegane wyjątkowo negatywnie. Tłuszcz mleka jest bowiem niekwestionowanym czynnikiem wzrostu poziomu cholesterolu całkowitego, jego frakcji związanych z lipoproteinami (LDL i HDL) oraz odpowiednio, wzrostu stężeń apolipoprotein B i A, w krwi człowieka [2,

20]. Nie ulega też wątpliwości, że podwyższona koncentracja cholesterolu frakcji LDL i apolipoprotein B, jest ściśle powiązana z ryzykiem chorób układu krążenia [49].

W tej sytuacji, zwrócono uwagę na potencjał metod (a) technologicznych oraz (b) żywieniowych, modyfikowania niepożądanego składu tłuszczu mleka. Te pierwsze, sprowadzające się do fizycznego frakcjonowania tłuszczu mleka, polegają głównie na kształtowaniu cech końcowego produktu, lecz mogą obejmować również eliminację cholesterolu [6, 35]. Warto zatem przedstawić wyniki żywieniowej weryfikacji cech funkcjonalnych masła pozbawionego cholesterolu na drodze ekstrakcji dwutlenkiem węgla w stanie nadkrytycznym [3, 7], uzyskane ostatnio przez Jacques i wsp. [20] we Francji. Przedmiotowe badania przeprowadzono na 21 dorosłych normolipidemicznych mężczyznach, zachowujących zwykłą aktywność życiową. Jedynym czynnikiem eksperymentalnym w przeprowadzonym doświadczeniu był rodzaj tłuszczu w racjach pokarmowych podawanych uczestnikom: masło standardowe, masło zmodyfikowane i margaryna. Skład podawanych tłuszczów i racji pokarmowych przedstawiono w tab. 1 i 2. Analizy profilu lipidowego osocza krwi (tab. 3) nie były jednak przekonujące. Podawanie zmodyfikowanego (pozbawionego cholesterolu) masła nie miało bowiem wpływu na poziom cholesterolu całkowitego i jego frakcji LDL w osoczu krwi badanych osobników. Natomiast istotny spadek tych wskaźników obserwowano w przypadku podawania margaryny. Brak oczekiwanego efektu funkcjonalnego (tu: hipocholesterolemicznego) obniżonego spożycia cholesterolu w zmodyfikowanym maśle nie powinien być jednak zaskoczeniem. Wiadomo bowiem, że, faktyczny hipocholesterolemiczny efekt obniżonego spożycia cholesterolu jest stosunkowo niewielki [14]. Potwierdza to również współczesna metaanaliza, zgodnie z którą, spadek spożycia cholesterolu o 100 mg/d pociąga za sobą jedynie 1% spadek jego stężenia w osoczu krwi człowieka [17]. Natomiast wysoki poziom wspomnianych wskaźników, obserwowany w grupach osobników otrzymujących zarówno standardowe jak i zmodyfikowane masło w racjach pokarmowych, należy odnieść przede wszystkim do profilu kwasów tłuszczowych [16, 26] tych produktów i niskiego, w porównaniu z margaryną, udziału nienasyconych kwasów tłuszczowych w ich składzie (tab. 1).

Żywieniowe metody modyfikowania składu kwasów tłuszczowych tłuszczu mleka polegają na podawaniu krowom tłuszczów chronionych przed biohydrogenacją w przewodzie pokarmowym (żwaczu) i wykorzystaniu zdolności tych zwierząt do bezpośredniego wbudowywania do tłuszczu mleka długołańcuchowych (>16C) kwasów tłuszczowych. Współcześnie stosowane formy tłuszczu chronionego to: (a) całe nasiona roślin oleistych, m.in. rzepaku [34] i lnu [25]; (b) preparaty olejów roślinnych chronionych otoczką kazeinową zdenaturowaną formaldehydem [35]; (c) sole wapniowe kwasów tłuszczowych [29]; (d) amidy kwasów tłuszczowych [21]. W odpowiednich doświadczeniach [29], stosując mydła wapniowe kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego, uzyskano daleko idące zmiany w składzie kwasów tłuszczowych tłuszczu

mleka. Przede wszystkim, zmniejszenie względnego udziału kwasów C12:0 (z 4,3 do 2,9%), C14:0 (z 15,1 do 11,7%) i C16:0 (z 36,2 do 26,8%) i wzrost względnego udziału kwasu C18:1 (z 23,2 do 35,9%). W bezpośredniej ocenie efektu funkcjonalnego (tu; hipocholesterolemicznego) modyfikowanego tłuszczu mleka, niezwykle interesujące są wyniki uzyskane przez Noakes i wsp. [35]. W niniejszym doświadczeniu uczestniczyły 33 osoby (19 mężczyzn i 14 kobiet). Badanym osobom podawano w racjach

Tabela 1

Skład kwasów tłuszczowych tłuszczów doświadczalnych.
Fatty acid composition of experimental fats.

Wyszczególnienie Specification	Tłuszcz mleka Milk fat	Zmodyfikowany tłuszcz mleka Modified milk fat	Margaryna Margarine
Cholesterol, mg/g	4,15	0,31	0,00
Kwasy tłuszczowe, % Fatty acids, %			
SFA	71,9	70,1	14,9
MUFA	25,2	26,8	39,3
PUFA	3,1	4,3	45,9

Przyjęto za: Jacques i wsp. (1999)
Taken from: Jacques et al. (1999)

Tabela 2

Skład doświadczalnych racji pokarmowych.
Nutrient composition of experimental diets.

Wyszczególnienie Specification	Tłuszcz mleka Milk fat	Zmodyfikowany tłuszcz mleka Modified milk fat	Margaryna Margarine
Energia, kJ/d Energy, kJ/d	13292	13316	13328
Białko (% energii) Protein (% of energy)	16	16	16
Węglowodany (% energii) Carbohydrates (% of energy)	51	51	51
Tłuszcze (% energii) Lipids (% of energy)	34	34	33
SFA, g	52	51	27
MUFA, g	47	48	48
PUFA, g	16	16	36
Cholesterol, mg	428	254	248

Przyjęto za: Jacques i wsp. (1999)
Taken from: Jacques et al. (1999)

Tabela 3

Wpływ rodzaju tłuszczu w racji pokarmowej na poziom cholesterolu całkowitego oraz lipoprotein VLDL, LDL i HDL w osoczu krwi ludzi.

Total cholesterol and its VLDL, LDL and HDL fractions in human blood plasma as affected by dietary fat.

Wyszczególnienie Specification	Tłuszcz mleka Milk fat	Zmodyfikowany tłuszcz mleka Modified milk fat	Margaryna Margarine
Cholesterol całkowity, mmol/L Total cholesterol, mmol/L	4,01	3,93	3,56
VLDL, mmol/L	0,22	0,17	0,19
LDL, mmol/L	2,74	2,67	2,33
HDL, mmol/L	1,06	1,09	1,03

Przyjęto za: Jacques i wsp. (1999)

Taken from: Jacques et al. (1999)

Tabela 4

Skład kwasów tłuszczowych standardowego i zmodyfikowanego tłuszczu mleka (% sumy kwasów tłuszczowych).

Fatty acid composition of standard and modified milk fat (% of total fatty acids).

Wyszczególnienie Specification	Tłuszcz standardowy Standard fat	Tłuszcz zmodyfikowany Modified fat
SFA	65,0	50,4
MUFA	22,8	35,3
PUFA	2,2	9,1

Przyjęto za: Noakes i wsp. (1996)

Taken from: Noakes et al. (1996)

pokarmowych standardowe lub zmodyfikowane produkty mleczne (mleko, ser, masło i lody); te ostatnie uzyskane z mleka krów żywionych preparatem chronionego tłuszczu. Skład badanych tłuszczów i odpowiednich racji pokarmowych przedstawiono w tab. 4. i 5. Warto tu zauważyć, że uzyskany tłuszcz mleka charakteryzował się istotnie obniżonym udziałem kwasów tłuszczowych nasyconych (C12:0, C14:0 i C16:0) i podwyższonym udziałem kwasów nienasyconych (C:18:1, C18:2 i C18:3). Jednocześnie, zmodyfikowany tłuszcz mleka, podawany uczestnikom, powodował istotny ($P < 0,001$) spadek poziomu cholesterolu całkowitego (o 0,28 mmol/L; 4,3%), wynikający głównie z istotnego ($P < 0,001$) spadku poziomu cholesterolu frakcji LDL (0,24 mmol/L), w osoczu krwi. Stężenia triacylogliceroli i cholesterolu frakcji HDL pozostawały na niezmiennym poziomie (tab. 6).

Tabela 5

Skład doświadczalnych racji pokarmowych.

Nutrient composition of experimental diets.

Wyszczególnienie Specification	Tłuszcz standardowy Standard fat	Tłuszcz zmodyfikowany Modified fat
Energia, kJ/d Energy, kJ/d	9400	9600
Białko (% energii) Protein (% of energy)	16,9	17,4
Węglowodany (% energii) Carbohydrates (% of energy)	47,2	47,6
Tłuszcze (% energii) Lipids (% of energy)	36,6	36,9
SFA	18,2	16,0
MUFA	9,1	11,9
PUFA	2,6	4,2
Cholesterol, mg/MJ	32,5	29,1

Przyjęto za: Noakes i wsp. (1996)

Taken from: Noakes et al. (1996)

Tabela 6

Wpływ rodzaju tłuszczu w racji pokarmowej na poziom cholesterolu całkowitego, lipoprotein LDL i HDL oraz triacylogliceroli w osoczu krwi ludzi.

Total cholesterol its LDL and HDL fractions and triacylglycerols in human blood plasma as affected by dietary fat.

Wyszczególnienie Specification	Tłuszcz standardowy Standard fat	Tłuszcz zmodyfikowany Modified fat
Cholesterol całkowity, mmol/L Total cholesterol, mmol/L	6,50	6,22
LDL, mmol/L	4,49	4,25
HDL, mmol/L	1,30	1,28
Triacylogilcerole, mmol/L Triacylglycerols, mmol/L	1,57	1,54

Przyjęto za: Noakes i wsp. (1996)

Taken from: Noakes et al. (1996)

Naturalnym składnikiem tłuszczu mleka, budzącym obecnie coraz większe zainteresowanie, jest sprzężony kwas linolowy (SKL), potocznie zwany kwasem żwaczowym (kwas cis-9, trans-11-oktadekadienowy). Związek ten ma wiele swoistych właściwości prozdrowotnych, m.in. jest czynnikiem zapobiegającym otyłości, ma właściwości antymiażdżycowe i antynowotworowe, a także stymuluje układ odpornościowy.

Oddziaływanie przeciwnowotworowe SKL zostało jednoznacznie udowodnione w badaniach na zwierzętach [41]. Jego zawartość w produktach zwierzęcych, np. w mleku, można stosunkowo łatwo modyfikować metodami żywieniowymi [44]. Warto wspomnieć, że wypas krów na pastwisku podwajał udział SKL w tłuszczu mleka z 4,6 do 10,9 mg/g (23). Podobne efekty przyniosło podawanie krowom olejów roślinnych (arachidowego, słonecznikowego i lnianego), o wysokiej zawartości wielonienasyconych KT, jako naturalnych prekursorów SKL, powstającego w procesach biohydrogenacji zwichrowej [24].

W dostępnej literaturze przedmiotu nie napotkano jednak prac weryfikujących bezpośrednio potencjalne właściwości funkcjonalne tłuszczu mleka wzbogaconego w SKL, podawanego ludziom. Należy jednak wspomnieć, że wyniki fińskich badań epidemiologicznych, sugerują istnienie pożądanej, ujemnej zależności pomiędzy poziomem spożycia tłuszczu mleka (jako źródła kwasu zwichrowego) i występowaniem raka piersi u kobiet [27]. Potwierdzeniem powyższych obserwacji mogą być także wyniki uzyskane w doświadczeniach na szczurach żywionych masłem wzbogaconym w SKL [18], które otrzymywano z mleka krów żywionych olejem słonecznikowym jako prekursorem tego związku [24]. Wykazano bowiem jednoznacznie, że obecność masła wzbogaconego w SKL w diecie szczurów doświadczalnych, hamowała wysoce efektywnie (53%; $P < 0,05$) rozwój indukowanych chemicznie guzów nowotworowych w gruczole mlekowym, weryfikując tym samym pozytywnie właściwości funkcjonalne (tu: przeciwnowotworowe) badanego związku.

Do interesujących prac można zaliczyć również wzbogacanie mleka krów w wit. E na pośredniej drodze żywieniowej [12], mające na celu zwiększenie stabilności oksydacyjnej tłuszczu mleka. Weryfikację funkcjonalnych (tu: antyoksydacyjnych) właściwości mleka, wzbogaconego technologicznie w wit. E przeprowadzili ostatnio Hayes i wsp. [15]. W badaniach tych, 48-osobowej grupie normolipidemicznych mężczyzn i kobiet, podawano wit. E (100 mg octanu α -tokoferolu) w zmodyfikowanym mleku o 1% zawartości tłuszczu. Źródłem tłuszczu był naturalny tłuszcz mleka, olej sojowy lub ich mieszanina. Uzyskane wyniki wskazały na brak zmian w profilu lipidowym osocza uczestników – poziom cholesterolu całkowitego, jego frakcji LDL i HDL a także triacylogliceroli, pozostawały bowiem bez zmian. Stwierdzono natomiast 2–2,5 – krotny wzrost stężenia wit. E w osoczu uczestników otrzymujących tę witaminę w formie rozpuszczonej w tłuszczu mleka lub w formie mikrodyspersji wodnej. W efekcie, uzyskano istotny wzrost stosunku molarnego wit. E do cholesterolu, będący wskaźnikiem poprawy potencjału antyoksydacyjnego osocza krwi. W kolejnym doświadczeniu niniejszej pracy wykazano, że zmiany wspomnianego stosunku molarnego (wit. E:cholesterol), są równoznaczne ze zmianami tego stosunku w lipoproteinach frakcji LDL, a co ważniejsze, prowadzą do istotnego spadku podatności tych lipoprotein na procesy oksydacji.

Opracowane w Polsce metody modyfikacji żywieniowej pozwalają również na efektywne wzbogacanie mleka krów w jod [5] i selen [57]. Nie weryfikowano jednak dotychczas właściwości funkcjonalnych tak uzyskanego produktu w doświadczeniach na ludziach.

Funkcjonalność zmodyfikowanego mięsa

Współczesne metody żywieniowe kształtowania cech funkcjonalnych mięsa [32, 59] sprowadzają się głównie do modyfikacji składu kwasów tłuszczowych tłuszczu zapasowego i śródmięśniowego, mającej na celu zwiększenie udziału jedno- i wielonienasyconych kwasów tłuszczowych, kosztem ograniczenia udziału niepożądanych kwasów nasyconych. Polegają one na podawaniu rosnaćm zwierzętom olejów roślinnych, a także rybnych, bogatych w jedno- i wielonienasycone kwasy tłuszczowe, wykorzystywane przez organizm zwierzęcy w procesach syntezy własnej tkanki tłuszczowej [45]. Stosunkowo wiele uwagi poświęcono modyfikacji składu tłuszczu świń pod kątem współczesnych zaleceń żywieniowych [19, 39, 58].

Warto też wskazać na współczesne prace, weryfikujące w doświadczeniach na ludziach, funkcjonalność zmodyfikowanego mięsa lub przetworów mięsnych uzyskanych od świń żywionych olejami roślinnymi [48, 51]. W pierwszej z wymienionych prac, mięso i przetwory wieprzowe uzyskano od świń żywionych trzema typami dawek: (1) standardową, (2) standardową z dodatkiem oleju rzepakowego (60 g/kg) i (3) standardową z dodatkiem oleju rzepakowego (60 g/kg) i wit. E (200 mg/kg). Uzyskane produkty, dostarczające 86 g tłuszczu (10 MJ), wchodziły w skład racji pokarmowych podawanych 12 normolipidycznym mężczyznom. Skład kwasów tłuszczowych tych racji pokarmowych, wskazujący na wzrost udziału kwasów tłuszczowych jedno- i wielonienasyconych, kosztem kwasów nasyconych, przedstawiono w tab. 7. W profilu lipidowym osocza krwi osób otrzymujących diety zawierające zmodyfikowane mięso i przetwory wieprzowe (tab. 8), tj. uzyskane od zwierząt żywionych olejem rzepakowym, obserwowano przede wszystkim istotny 4% spadek stężenia cholesterolu całkowitego. Było to tylko częściowym potwierdzeniem właściwości funkcjonalnych (tu: hipocholesterolemicznych) zmodyfikowanej żywności. Zaskakująco, poziom lipoprotein (frakcji LDL i HDL) ulegał jedynie nieznacznemu i nieistotnemu obniżeniu. Podobnym zaskoczeniem był spadek poziomu α - tokoferolu w osoczu krwi związany ze spożyciem zmodyfikowanego mięsa i przetworów wieprzowych.

W drugim z omawianych doświadczeń obserwowano podobne, lecz bardziej jednoznaczne zależności. Mięso wieprzowe otrzymywano od świń żywionych dwoma typami dawek: (1) standardową lub (2) standardową z dodatkiem oleju sojowego (40% energii dawki). Uzyskane mięso wieprzowe stanowiło następnie jedyne źródło tłuszczu w racjach pokarmowych (2000 kcal/d) podawanych 20 normolipidycznym młodym kobietom. Skład kwasów tłuszczowych i zawartość cholesterolu w badanych racjach

Tabela 7

Skład kwasów tłuszczowych racji pokarmowych w zależności od rodzaju tłuszczu wieprzowego w racji (% sumy kwasów tłuszczowych).

Fatty acid composition of experimental diets as affected by the source of pig fat (% of total fatty acids).

Wyszczególnienie Specification	Tłuszcz standardowy Standard fat (Dawka standardowa) (Standard diet)	Tłuszcz zmodyfikowany Modified fat (Dawka standardowa + olej rzepakowy) (Standard diet + rapeseed oil)	Tłuszcz zmodyfikowany Modified fat (Dawka standardowa + olej rzepakowy + wit. E) (Standard diet + rapeseed oil + vit. E)
SFA	38	30	28
MUFA	45	47	47
PUFA	14	20	21

Przyjęto za: Sandstrom i wsp. (2000)

Taken from: Sandstrom et al. (2000)

Tabela 8

Wpływ rodzaju tłuszczu w racji pokarmowej na poziom cholesterolu całkowitego, lipoprotein VLDL, LDL i HDL, triacylogliceroli oraz α -tokoferolu w osoczu krwi ludzi.

Plasma total cholesterol its LDL and HDL fractions, triacylglycerols, and α -tocopherol in human blood plasma as affected by dietary fat.

Wyszczególnienie Specification	Tłuszcz standardowy Standard fat (Dawka standardowa) (Standard diet)	Tłuszcz zmodyfikowany Modified fat (Dawka standardowa + olej rzepakowy) (Standard diet + rapeseed oil)	Tłuszcz zmodyfikowany Modified fat (Dawka standardowa + olej rzepakowy + wit. E) (Standard diet + rapeseed oil + vit. E)
Cholesterol całkowity, mmol/L Total cholesterol, mmol/L	3,62	3,47	3,44
VLDL, mmol/L	0,18	0,16	0,18
LDL, mmol/L	2,25	2,20	2,19
HDL, mmol/L	1,19	1,18	1,15
Triacyloglicerole, mmol/L Triacylglycerols, Mmol/L	0,69	0,63	0,69
α -Tokoferol, μ mol/L α -Tocopherol, μ mol/L	18,2	16,9	17,8

Przyjęto za: Sandstrom i wsp. (2000)

Taken from: Sandstrom et al. (2000)

Tabela 9

Skład doświadczalnych racji pokarmowych.
Nutrient composition of experimental diets.

Wyszczególnienie Specification	Tłuszcz standardowy Standard fat (Dawka standardowa) (Standard diet)	Tłuszcz zmodyfikowany Modified fat (Dawka standardowa + olej sojowy) (Standard diet + soybean oil)
Energia, kJ/d Energy, kJ/d	9158	8979
Białko (% energii) Protein (% of energy)	14,5	14,3
Węglowodany (% energii) Carbohydrates (% of energy)	43,4	43,9
Tłuszcze (% energii) Lipids (% of energy)	42,1	41,8
Kwasy tłuszczowe, % sumy kwasów tłuszczowych Fatty acids, % of total fatty acids		
SFA	39,9	25,0
MUFA	44,8	34,0
PUFA	15,3	41,4
Cholesterol, mg/d	325,0	302,0

Przyjęto za: Stewart i wsp. (2001)

Taken from: Stewart et al. (2001)

Tabela 10

Wpływ rodzaju tłuszczu w racji pokarmowej na poziom cholesterolu całkowitego, oraz lipoprotein LDL i HDL w osoczu krwi ludzi.

Total cholesterol and its LDL and HDL fractions in human blood plasma as affected by dietary fat.

Wyszczególnienie Specification	Tłuszcz standardowy Standard fat (Dawka standardowa) (Standard diet)	Tłuszcz zmodyfikowany Modified fat (Dawka standardowa + olej sojowy) (Standard diet + soybean oil)
Cholesterol całkowity, mmol/L Total cholesterol, mmol/L	4,01	3,39
LDL, mmol/L	2,33	1,78
HDL, mmol/L	1,38	1,19

Przyjęto za: Stewart i wsp. (2001)

Taken from: Stewart et al. (2001)

przedstawiono w tab. 9. Stwierdzono tu istotny wzrost udziału wielonienasyconych kwasów tłuszczowych (kosztem kwasów nasyconych) oraz spadek poziomu cholesterolu w zmodyfikowanej wieprzowinie. W profilu lipidowym osocza krwi badanych kobiet (tab. 10), otrzymujących zmodyfikowane mięso wieprzowe, stwierdzono wysoce istotny spadek stężenia cholesterolu całkowitego i jego aterogennej frakcji LDL. Natomiast poziom cholesterolu frakcji HDL i triacylgliceroli pozostawał bez zmian. Podobnie jak poprzednio, potencjalny efekt funkcjonalny (tu: hipocholesterolemiczny) zmodyfikowanej wieprzowiny został pozytywnie zweryfikowany.

Przedstawione metody żywienia służą również do wzbogacania tłuszczu zwierzęcego (zapasowego i śródmięśniowego) w sprzężony kwas linolowy (SKL). Odpowiednie badania wykonano na modelowych szczurach [52], a także na drobiu [53] oraz świniami [38]. Brak jest jednak prac weryfikujących potencjalne efekty prozdrowotne SKL, w zmodyfikowanych produktach, w doświadczeniach na ludziach.

Funkcjonalność zmodyfikowanych jaj

Współczesne metody modyfikacji żywieniowej składu jaja kurzego dotyczą przede wszystkim lipidów żółtka, w tym profilu kwasów tłuszczowych i cholesterolu, a ponadto składu mineralnego i zawartości witamin w całym jajku [44]. Profil kwasów tłuszczowych lipidów żółtka zależy przede wszystkim od analogicznego profilu dawki pokarmowej nioski i w związku z tym jest łatwy do modyfikacji na drodze żywieniowej. Największe zainteresowanie budzi tu możliwość modyfikowania zarówno udziału jedno- i wielonienasyconych kwasów tłuszczowych w żółtku jaja, jak i stosunku kwasów tłuszczowych z rodzin n-6 i n-3, przesuniętego niekorzystnie na rzecz kwasu linolowego (n-6) i jego aktywnych metabolitów [31, 56]. W doświadczeniach wykorzystywane są zarówno tłuszcze roślinne (m.in. olej lniany), jak i oleje uzyskiwane z ryb morskich, których efektywność jako bezpośrednich źródeł kwasów typu n-3 (EPA i DHA), jest powszechnie akceptowana, pomimo ich możliwego, ujemnego wpływu na cechy sensoryczne jaja kurzego [31].

W literaturze przedmiotu można również wskazać prace, których celem była weryfikacja potencjalnych właściwości funkcjonalnych zmodyfikowanych jaj, w doświadczeniach na ludziach. W pracy Garwina i wsp. [13], uzyskiwano jaja o podwyższonej zawartości jednonienasyconych kwasów tłuszczowych, jodu i wit. E (tab. 11). Doświadczenie żywieniowe przeprowadzono na 100 normolipidemicznych uczestnikach, żywnościowo identycznymi, z założenia hipocholesterolemicznymi racjami pokarmowymi, wydzielając dwie równoliczebne grupy: kontrolną (nie spożywającą jaj) i doświadczalną (spożywającą 12 zmodyfikowanych jaj/tydzień). Jediną istotną różnicą pomiędzy badanymi grupami było spożycie cholesterolu (152 i 499 mg/d; +350 mg/d). Wyraźna różnica w spożyciu tego składnika nie zmieniała jednak profilu lipidowego,

tj. stężenia cholesterolu całkowitego i jego frakcji LDL i HDL w osoczu badanych grup osób, w okresie 6 tygodni doświadczenia.

W komentarzu do powyższych wyników warto powtórnie wskazać na obecne poglądy nt. faktycznego wpływu spożycia cholesterolu na jego poziom w osoczu krwi człowieka. Nie można jednak wykluczyć funkcjonalnego oddziaływania (tu: hipocholesterolemicznego) zmodyfikowanych jaj, zwłaszcza w świetle fizjologicznej roli jednonienasyconych kwasów tłuszczowych (30). Właściwości funkcjonalne jaj kurzych wzbogacanych w kwasy tłuszczowe z rodziny n-3, badali Oh i wsp. [37]. Jaja te używano od niosek żywionych mieszanką paszową z 10% dodatkiem oleju rybnego. Wykazano, że w porównaniu z jajami standardowymi, jaja zmodyfikowane (o podwyższonej zawartości kwasów tłuszczowych typu n-3 i pożądanym wąskim stosunku form n-6/n-3), podawane w doświadczeniach żywieniowych ludziom, nie miały wpływu na poziom cholesterolu w surowicy badanych, lecz obniżały poziom aterogennych triacylgliceroli oraz ciśnienie (skurczowe i rozkurczowe) krwi. Natomiast u osobników spożywających jaja standardowe, obserwowano wzrost poziomu cholesterolu i triacylgliceroli w surowicy krwi, przy stałym jej ciśnieniu.

Tabela 11

Skład jaj uzyskanych w wyniku modyfikacji żywieniowej.
Composition of eggs as affected by nutritional modification.

Wyszczególnienie Specification	Jaja standardowe Standard eggs	Jaja zmodyfikowane Modified eggs
Kwasy tłuszczowe, mg/g Fatty acids, mg/g		
SFA	38	35
MUFA	46	58
PUFA	17	16
Cholesterol, mg/g	4,25	4,15
Witamina E, µg/g Vitamin E, µg/g	14	188
Jod, µg/g Iodine, µg/g	0,5	1,4

Przyjęto za: Garwin i wsp. (1992)

Taken from: Garwin et al. (1992)

W nowszej pracy Farrella [11], skład jaja (kwasów tłuszczowych żółtka jaja) modyfikowano wprowadzając do mieszanek paszowych dla niosek cztery różne typy olejów i ich kombinacji (rybny, rybny + lniany, rybny + lniany + rzepakowy i słonecznikowy w grupie kontrolnej). Udział wielonienasyconych kwasów tłuszczowych (n-3) w

lipidach żółtka zmodyfikowanych jaj przedstawiono w tab. 12. Zgodnie z oczekiwaniami, uzyskano pożądaną wzrost udziału wielonienasyconych kwasów tłuszczowych (n-3) i zwężenie stosunku n-6/n-3. W doświadczeniu żywieniowym przeprowadzonym na 60 normolipidemicznych mężczyznach i kobietach, zachowujących porównywalny sposób żywienia i podzielonych na 4 równoliczebne grupy, uczestnikom podawano odpowiednio: jaja zmodyfikowane i uzyskane od niosek żywionych olejem słonecznikowym (kontrola), w ilości 7 jaj/tydzień, przez okres 24 tygodni. W analizie profilu lipidowego osocza krwi nie obserwowano wyraźnych różnic pomiędzy badanymi grupami uczestników (tab. 13). Spożycie zmodyfikowanych jaj prowadziło natomiast do istotnego wzrostu poziomu kwasu α -linolenowego i jego aktywnych metabolitów (20:5 n-3, 22:5 n-3 i 22:6 n-3) w surowicy krwi badanych (tab. 14). Dodatkowo, wystąpił tu istotny spadek stosunku n-6/n3 (z 12:1 do 6,5-7,7:1) w porównaniu z grupą osób kontrolnych.

Tabela 12

Wpływ rodzaju tłuszczu w mieszance paszowej nioски na udział wielonienasyconych kwasów tłuszczowych (n-3) w lipidach żółtka jaja (% sumy kwasów tłuszczowych).

Polyunsaturated (n-3) fatty acid content of egg yolk lipids as affected by fat sources in hen feed mixtures (% of total fatty acids).

Kwas tłuszczowy Fatty acid	Mieszanka standardowa Standard mixture	Mieszanka standardowa +olej rybny Standard mixture +fish oil	Mieszanka standardowa + olej rybny +olej lniany Standard mixture +fish oil +linseed oil	Mieszanka standardowa +olej rybny +olej lniany +olej rzepakowy Standard mixture +fish oil +linseed oil + rapeseed oil
C18:3	0,20	0,36	2,26	2,32
C20:5	0,20	1,00	0,58	0,45
C22:5	0,06	0,63	0,52	0,42
C22:6	0,44	5,27	3,80	3,38
Suma / Total	0,94	7,34	7,24	6,60
n-6/n-3	25,75	1,25	1,52	1,80

Przyjęto za: Farrell (1998)

Taken from: Farrell (1998)

Nie ulega zatem wątpliwości, że odpowiednio zmodyfikowane jaja kurze, można uznać za klasyczny przykład produktów funkcjonalnych o udokumentowanym, korzystnym oddziaływaniu na organizm człowieka. Są one niewątpliwie korzystniejszą alternatywą w porównaniu z bezpośrednim spożyciem olejów rybnych [28], a ich obecność na rynku jest już widoczna [55]. W Polsce zmodyfikowane żywieniowo jaja

(tzw. „biojaja”) są produkowane w celach komercyjnych przez Dobropasz-Grupę Rolimpex Sp. z o.o.

Tabela 13

Wpływ źródła tłuszczu użytego do modyfikacji składu lipidów żółtka na poziom cholesterolu całkowitego, jego frakcji LDL i HDL oraz triacylgliceroli w osoczu krwi ludzi spożywających 7 jaj/tydzień. Total cholesterol, its LDL and HDL fractions and triacylglycerols in blood plasma of subjects consuming 7 eggs/week as affected by the source of fat used to modify egg lipid composition.

Wyszczególnienie Specification	Kontrola Control	Olej rybny Fish oil	Olej rybny / Fish oil Olej lniany / Linseed oil	Olej rybny / Fish oil Olej lniany / Linseed oil Olej rzepakowy / Rapeseed oil
Cholesterol całkowity, mmol/L Total cholesterol, mmol/L	4,4	5,3	4,6	4,5
LDL, mmol/L	3,6	4,5	3,8	3,8
HDL, mmol/L	0,84	0,84	0,87	0,70
Triacylglicerole, mmol/L Triacylglycerols, mmol/L	0,84	1,30	1,05	0,97

Przyjęto za: Farrell (1998)

Taken from: Farrell (1998)

Tabela 14

Wpływ źródła tłuszczu użytego do modyfikacji składu lipidów żółtka na poziom wielonienasyconych kwasów tłuszczowych (n-3) w osoczu krwi ludzi spożywających 7 jaj/tydzień (% sumy kwasów tłuszczowych).

Polyunsaturated fatty acid (n-3) content in blood plasma of subjects consuming 7 eggs/week as affected by the source of fat used to modify egg lipid composition (% of total fatty acids).

Wyszczególnienie Specification	Kontrola Control	Olej rybny Fish oil	Olej rybny / Fish oil Olej lniany / Linseed oil	Olej rybny / Fish oil Olej lniany / Linseed oil Olej rzepakowy / Rapeseed oil
C18:3	0,83	1,22	1,27	1,36
C20:5	0,60	0,91	0,78	0,93
C22:5	0,42	0,57	0,71	0,58
C22:6	1,26	2,15	2,14	1,85
Suma / Total	3,28	5,03	5,11	4,93
n-6/n-3	12,20	6,51	7,06	7,70

Przyjęto za: Farrell (1998)

Taken from: Farrell (1998)

W aktualnych pracach poświęconych wzbogacaniu jaj kurzych w SKL [1, 8, 22, 52], wraz ze wzrostem poziomu tego związku w dawkach pokarmowych niosek, obserwowano liniowy wzrost jego zawartości w lipidach żółtka jaja. Zwykle, kosztem kwasów jednonienasyconych (18:1 n-9) i wielonienasyconych (18:2 n-6 i 20:4 n-6 oraz 18:3 n-3 i 22:6 n-6). Próba weryfikacji potencjalnych właściwości funkcjonalnych jaj wzbogaconych w SKL są doświadczenia Szymczyk i Pisulewskiego [54] wykonane na dorosłych szczurach. W pracach tych, jaja o zmodyfikowanym składzie lipidów żółtka uzyskano od niosek żywionych mieszankami zawierającymi w swym składzie sprzężony kwas linolowy (1,5%). W doświadczeniu żywieniowym, wykonanym na 30 dorosłych szczurach laboratoryjnych, podzielonych na trzy równoliczebne grupy, zwierzętom podawano diety półsyntetyczne zawierające w swym składzie: kazeinę (grupa kontrolna), liofilizowane żółtka uzyskane od niosek żywionych mieszanką standardową lub liofilizowane żółtka uzyskane od niosek żywionych mieszanką z 1,5% udziałem SKL. Skład lipidów w zmodyfikowanych żółtkach (tab. 15) wskazywał na daleko idące efekty modyfikacji żywieniowej jaj. Przede wszystkim na wzbogacenie lipidów w SKL (6,4% sumy kwasów tłuszczowych), a także istotny wzrost udziału kwasów tłuszczowych nasyconych (z 31 do 53%) i spadek udziału kwasów tłuszczowych jednonienasyconych (z 49 do 26%). W ocenie profilu lipidowego osocza krwi szczurów, obu grup, żywionych liofilizowanymi żółtkami jaj obserwowano istotny wzrost stężenia cholesterolu całkowitego oraz jego frakcji HDL (tab. 16). Jednocześnie, obserwowano wzrost stężenia cholesterolu frakcji LDL w osoczu szczurów żywionych żółtkami standardowymi i spadek jego stężenia u szczurów żywionych żółtkami wzbogaconymi w SKL. W efekcie, wartości stosunku cholesterol-HDL:cholesterol całkowity były istotnie podwyższone u tych ostatnich. Nie stwierdzono natomiast

Tabela 15

Wpływ SKL w mieszance paszowej niosek na skład kwasów tłuszczowych lipidów żółtka jaja (% sumy kwasów tłuszczowych).

Fatty acid composition of egg yolk lipids as affected by CLA-supplemented hen feed mixture (% of total fatty acids).

Wyszczególnienie Specification	Żółtka standardowe Standard yolks	Żółtka wzbogacone w SKL CLA-enriched yolks
SFA	31,0	53,1
MUFA	49,1	26,0
PUFA	19,3	20,3
SKL	-	6,4
CLA		

Przyjęto za: Szymczyk i wsp. (2000)

Taken from: Szymczyk i in. (2000)

istotnych różnic w poziomie triacylgliceroli osocza. Nie ulega tu wątpliwości, że pomimo niektórych pożądanych zmian w profilu lipidowym osocza, ich ogólny obraz nie jest jednoznacznym potwierdzeniem właściwości funkcjonalnych (tu: hipocholesterolemicznych) zmodyfikowanych jaj.

Tabela 16

Wpływ standardowych i wzbogaconych w SKL żółtek jaj w diecie dorosłego szczura na poziom cholesterolu całkowitego, jego frakcji LDL i HDL oraz triacylgliceroli w osoczu krwi.

Total cholesterol, its LDL and HDL fractions and triacylglycerols in blood plasma of rats fed standard and CLA-enriched egg yolks/

Wyszczególnienie Specification	Żółtka standardowe Standard yolks	Żółtka wzbogacone w SKL CLA-enriched yolks
Cholesterol całkowity, mg/dL Total cholesterol, mg/dL	78,30	74,66
LDL, mg/dL	31,67	24,29
HDL, mg/dL	46,60	50,64
Triacylglicerole, mg/dL Triacylglycerols, mg/dL	170,27	171,40

Przyjęto za: Szymczyk i Pisulewski (2002)

Taken from: Szymczyk i Pisulewski (2002)

Do interesujących prób modyfikacji żywieniowej składu jaja kurzego można zaliczyć również wzbogacanie jaj w jod i weryfikację ewentualnych efektów funkcjonalnych tego pierwiastka [13]. Nie stwierdzono jednak wpływu tak zmodyfikowanych jaj na funkcje tarczycy. Podejmowane są również próby wzbogacania lipidów żółtka jaja w antyoksydacyjną wit. E [9, 13, 40]. Nie weryfikowano jednak potencjału funkcjonalnego (tu: antyoksydacyjnego) tych jaj w doświadczeniach na ludziach.

Podsumowanie

Przedmiotem zainteresowania nauki o żywności funkcjonalnej jest zdolność produktów spożywczych do pozytywnego oddziaływania na stan zdrowia człowieka. Jest to szczególnym wyzwaniem w przypadku produktów pochodzenia zwierzęcego, których spożycie, ze względu na wysoką zawartość i skład tłuszczu, jest postrzegane z reguły negatywnie jako czynnik ryzyka w rozwoju tzw. chorób cywilizacyjnych. Jednocześnie, przedmiotowe produkty zajmują poczesne miejsce w racji pokarmowej człowieka i ich całkowita eliminacja wydaje się mało prawdopodobna.

W tym kontekście warto zwrócić uwagę na współczesne metody modyfikowania składu produktów spożywczych pochodzenia zwierzęcego na drodze żywieniowej. Przedmiotowe metody pozwalają bowiem na uzyskanie produktów o pożądanej jako-

ści, m.in. korzystnym składzie kwasów tłuszczowych, w tłuszczu mleka, mięsa i żółtku jaja kurzego. Pozwalają także na zwiększenie stabilności oksydacyjnej tych produktów poprzez podawanie zwierzętom wit. E oraz pożądane modyfikowanie składu mineralnego, m.in. zawartości jodu i selenu w mleku oraz jodu w jajku kurzym.

Warto też wskazać, że funkcjonalność produktów pochodzenia zwierzęcego, uzyskanych na drodze modyfikacji żywieniowej, zweryfikowano pozytywnie w doświadczeniach na zwierzętach modelowych i ludziach. Wskazują na to wyniki wybranych prac poświęconych funkcjonalności zmodyfikowanego mleka, mięsa i jaj, w żywieniu ludzi, przedstawione w niniejszym opracowaniu.

LITERATURA

- [1] Ahn D.U., Sell J.L., Jo C., Chmruspollert M., Jeffrey M.: Effect of dietary conjugated linoleic acid on the quality characteristics of chicken eggs during refrigerated storage. *Poultry Sci.*, **78**, 1999, 922-928
- [2] Aro A., Jauhiainen M., Partanen R., Salminen I., Mutanen M.: Stearic acid, trans fatty acids, and dairy fat: effects on serum and lipoprotein lipids, apolipoproteins, lipoprotein(a), and lipid transfer proteins in healthy subjects. *Am. J. Clin. Nutr.*, **65**, 1997, 1419-1426.
- [3] Arul J., Boudreau A., Makhoul J., Tardif R., Sahasrabudhe M.R.: Fractionation of anhydrous milk fat by superficial carbon dioxide. *J. Food Sci.*, **52**, 1987, 1231-1236.
- [4] Bellisle F., Diplock A.T., Hornstra G., Kolezko B., Roberfroid M.B., Salminen S., Saris W.H.M.: Functional Food Science in Europe. *Br. J. Nutr.*, **80** (Suppl. 1), 1998, 1-193.
- [5] Bobek S., Sechman A., Brzóska F., Pyska H.: Przechodzenie jodu z przewodu pokarmowego do mleka po podaniu różnych dawek EDDI (jodowodorku etyleno dwuaminy) lub KJ (jodku potasu). *Acta Agr. Silv. ser. Zoot.*, **36**, 1998, 75-81.
- [6] Boudreau A., Arul J.: Cholesterol reduction and fat fractionation technologies for milk fat: an overview. *J. Dairy Sci.*, **76**, 1993, 1772-81.
- [7] Bradley R.L.: Removal of cholesterol from milk fat using supercritical carbon dioxide. *J. Dairy Sci.* **72**, 1989, 2834-2840
- [8] Chamruspollert M., Sell J.L.: Transfer of conjugated linoleic acid to egg yolks of chickens. *Poultry Sci.*, **78**, 1999, 1138-1150.
- [9] Chen J.T., Latshaw J.D., Lee H.O., Min D.B.: α -Tocopherol content and oxidative stability of egg yolk as related to dietary α -tocopherol. *J. Food Sci.*, **63**, 1998, 919-922.
- [10] Diplock A.T., Aggett P. J., Ashwell M., Bornet F., Fern E.B., Roberfroid M.B.: Scientific Concepts of Functional Foods in Europe: Consensus Document. *Br. J. Nutr.* **81** (Supl. 1), 1999, 1-27.
- [11] Farrell D.J.: Enrichment of hen eggs with n-3 long-chain fatty acids and evaluation of enriched eggs in humans. *Am. J. Clin. Nutr.*, **68**, 1998, 538-544.
- [12] Focant M., Mignolet E., Marique M., Clabots F., Breysse T., Dalemans D., Larondelle Y.: The effect of vitamin E supplementation of cow diets containing rapeseed and linseed on the prevention of milk fat oxidation. *J. Dairy Sci.*, **81**, 1998, 1095-1101.
- [13] Garwin J.L., Morgan J.M., Stowell R.L., Richardson M.P., Walker M.C., Capuzzi D.M.: Modified eggs are compatible with diet that reduces serum cholesterol concentrations in humans. *J. Nutr.*, **122**, 1992, 2153-2160.

- [14] Gertig H., Przysławski J.: Rola tłuszczów w żywieniu człowieka. *Żyw. Człow. Met.*, **21**, 1994, 375-388.
- [15] Hayes K.C., Pronczuk A., Perlman D.: Vitamin E in fortified cow milk uniquely enriches human plasma lipoproteins. *A. J. Clin. Nutr.*, **74**, 2001, 211-218.
- [16] Hegsted D.M., Ausman L. M., Johnson J.A., Dallal G.E.: Dietary fat and serum lipids: an evaluation of experimental data. *Am. J. Clin. Nutr.*, **57**, 1993, 875-883.
- [17] Howell W.H., McNamara D.J., Tosca M.A., Smith B.T., Gaines J.A.: Plasma lipid and lipoprotein responses to dietary fat and cholesterol: a meta-analysis. *Am. J. Clin. Nutr.*, **65**, 1997, 1747-1764.
- [18] Ip C., Banni S., Angioni E., Carta G., McGinley J., Thompson H., Barbano D., Bauman D.: Conjugated linoleic acid-enriched butter fat alters mammary gland morphogenesis and reduces cancer risk in rats. *J. Nutr.*, **129**, 1999, 2135-2141.
- [19] Irie M., Sakimoto M.: Fat characteristics of pigs fed fish oil containing eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids. *J. Anim. Sci.*, **70**, 1992, 470-477.
- [20] Jacques H., Gascon A., Arul J., Boudreau A., Lavigne Ch., Bergeron J.: Modified milk fat reduces plasma triacylglycerol concentrations in normolipidemic men compared with regular milk fat and nonhydrogenated margarine. *Am. J. Clin. Nutr.*, **70**, 1999, 983-991
- [21] Jenkins T.C.: Fatty acid composition of milk from Holstein cows fed oleamide or canola oil. *J. Dairy Sci.*, **81**, 1998, 794-800.
- [22] Jones S., Ma D.W., Robinson F.E., Field C.J., Clandinin M.T.: Isomers of conjugated linoleic acid (CLA) are incorporated into egg yolk lipids by CLA-fed laying hens. *J. Nutr.*, **130**, 2000, 2002-2005.
- [23] Kelly M.L., Kolver E.S., Bauman D.E., van Amburgh M.E., Muller L.D.: Effect of intake of pasture on concentrations of conjugated linoleic acid in milk of dairy cows. *J. Dairy Sci.*, **81**, 1998a, 1630-1636.
- [24] Kelly M.L., Berry J.R., Dwyer D.A., Griinari J.M., Chouinard P.Y., van Amburgh M.E. Bauman D.E.: Dietary fatty acid sources affect conjugated linoleic acid concentrations in milk from lactating dairy cows. *J. Nutr.*, **128**, 1998b, 881-885.
- [25] Kenelly J.J.: The fatty acid composition of milk fat as influenced by feeding oil seeds. *Anim. Feed Sci. Technol.*, **60**, 1996, 137-152.
- [26] Keys A., Anderson J.T., Grande F.: Serum-cholesterol response to changes in the diet. II. The effect of cholesterol in the diet. *Metabolism*, **14**, 1965, 759-765.
- [27] Knekt P., Jarvinen R., Seppanen R., Pukkala E., Aromaa A. (1996). Intake of dairy products and the risk of breast cancer. *Br. J. Cancer*. **73**: 687-691
- [28] Kolanowski W., Świdorski F., Hoffmann M.: Możliwości wzbogacania wybranych produktów spożywczych w wielonienasycone kwasy tłuszczowe z grupy n-3 (n-3 PUFA), stosując olej rybny. *Żyw. Człow. Met.*, **24**, 1997, 13-26.
- [29] Kowalski Z.M., Pisulewski P.M., Spanghero M.: Effects of calcium soaps of rapeseed fatty acids and protected methionine on milk yield and composition in dairy cows. *J. Dairy Res.*, **66**, 1999, 475-487.
- [30] Kris-Etherton P.M.: AHA Science Advisory: Monounsaturated fatty acids and risk of cardiovascular disease. *J. Nutr.*, **129**, 1999, 2280-2284.
- [31] Leskanich C.O., Noble R.C.: Manipulation of the n-3 polyunsaturated fatty acid composition of avian eggs and meat. *World's Poultry Sci. J.*, **53**, 1997, 155-183.
- [32] Lynch B.P., Kerry J. P.: Utilizing diet to incorporate bioactive compounds and improve the nutritional quality of muscle foods. W: „Antioxidants in Muscle Foods”, str. 455-480 [E. Decker, C. Faustman, C.J. Lopez-Bote, Wyd.]. New York: John Wiley & Sons, Inc. Publ., 2000.
- [33] Mitsumoto M.: Dietary delivery versus exogenous addition of antioxidants. W: „Antioxidants in Muscle Foods”, str. 315-343 [E. Decker, C. Faustman, C.J. Lopez-Bote, Wyd.]. New York: John Wiley & Sons, Inc. Publ., 2000.

- [34] Murphy J.J., Connolly J.F., McNeill G.P.: Effects on milk fat composition and cow performance of feeding concentrates containing full rapeseed and maize distillers grains in grass-silage based diets. *Livest. Prod. Sci.*, **44**, 1995, 1-11.
- [35] Noakes M., Nestel P.J., Clifton P.M.: Modifying the fatty acid profile of dairy products through feedlot technology lowers plasma cholesterol of humans consuming the products. *Am. J. Clin. Nutr.*, **63**, 1996, 42-46.
- [36] O'Donell J.A.: Future of milk fat modification by production or processing: integration of nutrition, food science, and animal science. *J. Dairy Sci.*, **76**, 1993, 1797-801.
- [37] Oh S.Y., Ryue J., Hsieh C.H., Bell D. E.: Eggs enriched in ω -3 fatty acids and alterations in lipid concentrations in plasma and lipoproteins and in blood pressure. *Am. J. Clin. Nutr.*, **54**, 1991, 689-695.
- [38] Ostrowska E., Muralitharan M., Cross R., Bauman D., Dunshea F.: Dietary conjugated linoleic acids increase lean tissue and decrease fat deposition in growing pigs. *J. Nutr.*, **129**, 1999, 2037-2042.
- [39] Overland M., Taugbol O., Haug A., Sundstol E.: Effect of fish oil on growth performance, carcass characteristics, sensory parameters, and fatty acid composition in pigs. *Acta Agric. Scand. Sect. A, Anim. Sci.*, **46**, 1996, 11-17.
- [40] Qi G.H., Sim J.S.: Natural tocopherol enrichment and its effect in n-3 fatty acid modified chicken eggs. *J. Agric Food Chem.*, **46**, 1998, 1920-1926.
- [41] Parodi P.W.: Conjugated linoleic acid and other anticarcinogenic agents of bovine milk fat. *J. Dairy Res.*, **82**, 1999, 1339-1349.
- [42] Pisulewski P.M., Kamiński J., Kowalski Z.M.: Mleko w żywieniu człowieka modyfikowanie jego składu pod kątem współczesnych zaleceń żywieniowych. *Żyw. Człow. Met.*, **24**, 1997, 103-120.
- [43] Pisulewski P., Szymczyk B., Hanczakowski P., Szczurek W.: Sprzężony kwas linolowy (SKL) jako składnik funkcjonalny żywności pochodzenia zwierzęcego. *Post. Nauk Roln.*, **6**, 1999, 3-16.
- [44] Pisulewski P.: Wartość odżywcza jaj kurzych oraz współczesne metody jej kształtowania. w: „Jajczarstwo” praca zbiorowa pod redakcją T. Trziszki, Wydaw. AR, Wrocław 2000, 189-217.
- [45] Pisulewski P., Kowalski Z., Szymczyk B.: Żywieniowe metody modyfikowania składu i kształtowania właściwości funkcjonalnych produktów pochodzenia zwierzęcego (mleka, mięsa i jaj). *Post. Nauk Roln.*, **2**, 2001, 59-72.
- [46] Roberfroid M.: Concepts and strategy of functional food science: the European perspective. *Am. J. Clin. Nutr.*, **71**, 2000, 1660-64.
- [47] Ryś R., Kuchta M., Koreleski J., Zegarek Z.: Wpływ czynników żywieniowych na zawartość cholesterolu w żółtku jaja kury. *Roczn. Nauk Zoot.*, **23**, 2, 1996, 167-186.
- [48] Sandström B., Bügel S., Lauridsen Ch., Nielsen F., Jensen C., Skibsted L.: Cholesterol-lowering potential in human subjects of fat from pigs fed rapeseed oil. *Br. J. Nutr.*, **84**, 2000, 143-150.
- [49] Schaefer E.J.: Effects of dietary fatty acids on lipoproteins and cardiovascular disease risk: summary. *Am. J. Clin. Nutr.*, **65**, 1997, 1655-6.
- [50] Schwarz F.J., Augustini C., Timm M., Kirchgessner M., Steinhart H.: Effect of vitamin E on α -tocopherol concentration in different tissues and oxidative stability of bull beef. *Livest. Prod. Sci.*, **56**, 1998, 165-171.
- [51] Stewart J.W., Kaplan M.L., Beitz D.C.: Pork with a high content of polyunsaturated fatty acids lowers LDL cholesterol in women. *Am. J. Clin.*, **74**, 2001, 179-187.
- [52] Szymczyk B., Pisulewski P.M., Szczurek W., Hanczakowski P.: The effects of feeding conjugated linoleic acids (CLA) on rat growth performance, serum lipoproteins and subsequent lipid composition of selected rat tissues. *J. Sci. Food Agric.*, **80**, 2000, 1553-1558.

- [53] Szymczyk B., Pisulewski P., Szczurek W., Hanczakowski P.: Effects of conjugated linoleic acid on growth performance, feed conversion efficiency, and subsequent carcass quality in broiler chickens. *Br. J. Nutr.*, **85**, 2001, 465-473.
- [54] Szymczyk B., Pisulewski P.: Feeding conjugated linoleic acid – enriched egg yolks alters serum lipid profile in adult rats. 1st. International Conference on Conjugated Linoleic Acid (CLA), Alesund, Norway 2001, 63-64.
- [55] Trziszka T.: Nowe metody doskonalenia i przetwarzania treści jaj spożywczych. *Zesz. Nauk AR w Wrocławiu. Techn. Żywn.*, **328**, 1998, 125-136.
- [56] Van Elswyk M.E.: Comparison of n-3 fatty acid sources in laying hen rations for improvement of whole egg nutritional quality: a review. *Br. J. Nutr.*, **78** (Suppl. 1): 1997, 61-69.
- [57] Wiewióra W., Brzóska F., Brzóska B., Michalec-Dobja J.: Zawartość selenu w mleku i we krwi krów zależnie od poziomu selenu w dawce pokarmowej. W: „Związki mineralne w żywieniu zwierząt”, str. 183-188 [F. Brzóska, Wyd.], Kraków, Instytut Zootechniki, 1998.
- [58] Wiseman J., Agunbiade J.A.: The influence of changes in dietary fat and oils on fatty acid profiles of carcass fat in finishing pigs. *Livest. Prod. Sci.*, **54**, 1998, 217-227.
- [59] Wenk C., Leonhardt M., Scheeder M.: Monogastric nutrition and potential for improving muscle quality. W: „Antioxidants in Muscle Foods”, str. 199-227 [E. Decker, C. Faustman, C.J. Lopez-Bote, Wyd.]. New York: John Wiley & Sons, Inc. Publ., 2000.

FUNCTIONAL PROPERTIES OF FOODS OF ANIMAL ORIGIN DERIVED BY NUTRITIONAL STRATEGIES

S u m m a r y

The review presents currently available animal nutrition strategies aimed at modification of animal product (milk, meat, and eggs) composition to be more consistent with human dietary guidelines. Methods of decreasing saturated and increasing mono- and polyunsaturated fatty acids, and also cholesterol in animal fat, by feeding plant oils to dairy cows, pigs, growing poultry and laying hens are briefly described. Correspondingly, the results of several trials verifying, in a positive way, the potential functional (hypocholesterolemic) properties of modified milk, meat and egg yolk fat in humans are described in more detail. It is concluded that nutritional strategies currently applied to modify animal product composition, to be more compatible with human dietary guidelines, are the effective means for obtaining products showing evident functional properties. ☒