

AGNIESZKA REWUCKA, JADWIGA HAMUŁKA

OCENA DOSTĘPNOŚCI ORAZ SKŁADU SUPLEMENTÓW DIETY ZAWIERAJĄCYCH KSANTOFILĘ – LUTEINĘ, ZEAKSANTYNĘ I ASTAKSANTYNĘ

Streszczenie

Luteina, zeaksantyna i astaksantyna zaliczane są do ksantofili, czyli hydroksylowych pochodnych karotenów – związków o silnych właściwościach prozdrowotnych. Wpływają one na prawidłowe funkcjonowanie wielu układów i narządów. Z uwagi na brak możliwości syntetyzowania wymienionych ksantofili przez organizm człowieka oraz stosunkowo małe ich spożycie z żywnością powstaje coraz szersza gama suplementów umożliwiających uzupełnianie niedoborów tych związków.

Celem pracy był przegląd suplementów diety zawierających luteinę, zeaksantynę oraz astaksantynę, dostępnych od 5 lipca do 31 października 2019 roku na polskim rynku. Charakterystykę suplementów diety przygotowano na podstawie informacji zamieszczonych na opakowaniach, ulotkach dołączonych do tych opakowań, jak również znajdujących się na stronach internetowych aptek, sklepów zielarskich i sklepów z odżywkami. W badanym okresie stwierdzono obecność 233 takich preparatów, w tym 72 z luteiną, 2 z zeaksantyną, 42 z astaksantyną, 105 z luteiną i zeaksantyną, 6 z luteiną i astaksantyną oraz 6 zawierających wszystkie 3 karotenoidy. Zawartość omawianych związków w zalecanej dziennej dawce zależała przede wszystkim od wskazań do stosowania tych preparatów i wahała się w zakresie 0,02 ÷ 40 mg luteiny, 0,032 ÷ 9 mg zeaksantyny oraz 0,005 ÷ 40 mg astaksantyny. Suplementy diety zawierające luteinę (62 % preparatów) i zeaksantynę (84 % preparatów) były przeznaczone do stosowania w celu zapewnienia prawidłowego widzenia. W przypadku preparatów z astaksantyną wskazywano działanie kompleksowe oraz z przeznaczeniem dla osób ze schorzeniami układu sercowo-naczyniowego (po 28 %).

Słowa kluczowe: suplementy diety, ksantofile, luteina, zeaksantyna, astaksantyna, zawartość w suplementach, dostępność na polskim rynku

Wprowadzenie

Ksantofile, w tym luteina, zeaksantyna i astaksantyna, to hydroksylowe pochodne karotenów. Pod względem budowy chemicznej są to nienasycone węglowodory polie-

Inż. A. Rewucka, Wydz. Żywności Człowieka SGGW, prof. dr hab. J. Hamułka, Katedra Żywności Człowieka, Instytut Nauk o Żywieniu Człowieka, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, ul. Nowoursynowska 159 C, 02-776 Warszawa. Kontakt: jadwiga_hamułka@sggw.edu.pl

nowe składające się z ośmiu reszt izoprenowych. Tworzą one łańcuch węglowy zbudowany z 40 atomów węgla, zawierający 9 podwójnych wiązań sprzężonych, zakończony pierścieniami końcowymi. Luteina i zeaksantyna różnią się między sobą położeniem wiązania podwójnego w jednym z pierścieni β -jononowych. W przypadku astaksantyny każdy z pierścieni, oprócz grupy hydroksylowej, zawiera w swojej strukturze dodatkowo jedną grupę ketonową. Obecność grup hydroksylowych, a w przypadku astaksantyny dodatkowo ketonowych powoduje, że związki te są bardziej polarne niż karoteny, co w znacznym stopniu determinuje ich absorpcję, transport, metabolizm i odkładanie w tkankach [1, 15, 16, 20, 24].

Dotychczas zidentyfikowano ok. 750 karotenoidów, z czego tylko ok. 40 znajduje się w typowej diecie człowieka, a ok. 20 występuje w ludzkiej krwi i tkankach. Należy zaznaczyć, że tylko 6 z nich, tj. likopen, luteina, β -karoten, β -kryptoksantyna, α -karoten i zeaksantyna stanowi ponad 95 % karotenoidów znajdujących się w osoczu krwi [4, 10, 17, 24, 29]. Karotenoidy pełnią szereg funkcji w ochronie zdrowia człowieka. Wykazują przede wszystkim działanie przeciwutleniające, ale poszczególne karotenoidy mogą również działać poprzez inne mechanizmy, np. β -karoten pełni funkcję prowitaminy A, podczas gdy ksantofile, a zwłaszcza luteina i zeaksantyna, odgrywają istotną rolę w budowie struktur oka i w sprawnym funkcjonowaniu narządu wzroku, stąd też mogą zmniejszać częstotliwość występowania chorób oczu, takich jak AMD, zaćma czy zwyrodnienie barwnikowe siatkówki [1, 3, 24, 25]. Właściwości przeciwutleniające karotenoidów, w tym ksantofili, polegają na prewencji, czyli niedopuszczeniu do reakcji wolnych rodników tlenowych ze związkami podatnymi na ich działanie (np. fosfolipidy błon komórkowych). Zdolność ta polega również na wychwytywaniu wolnych rodników, zwłaszcza tlenu singletowego, chroniącego przed uszkodzeniem oksydacyjnym. Z kolei reagując z wolnymi rodnikami pochodzenia organicznego powstającymi w wyniku utleniania lipidów, opóźniają peroksydację lipidów błon komórkowych. [3, 17, 20, 25]. Związki te przyczyniają się również do przyspieszenia procesów regeneracyjnych skóry i opóźnienia procesów jej starzenia [3, 18, 22]. Wykazują działanie przeciwnowotworowe oraz pozytywnie wpływają na zmniejszenie częstotliwości występowania udaru mózgu i chorób układu krążenia [3, 12, 18]. W ostatnich latach wykazano szczególne powinowactwo ksantofili (luteiny, zeaksantyny) do komórek nerwowych obecnych zarówno w siatkówce oka, jak również w rejonach mózgowia, zaangażowanych w procesy poznawcze człowieka. Zwiększają one płynność werbalną, pamięć oraz ogólnie funkcje poznawcze [3, 22, 25, 32, 35]. Dzięki możliwości przechodzenia tych związków z krwi matki do łożyska oraz ich obecności w mleku ludzkim, stają się one niezwykle ważne dla rozwoju wzroku i funkcji poznawczych u niemowląt i małych dzieci [21, 35].

Z kolei astaksantyna z uwagi na swoją unikatową strukturę molekularną wykazuje większą aktywność biologiczną i wpływa na redukcję stresu oksydacyjnego silniej niż

inne przeciwutleniacze [2, 19, 22]. Może ona odgrywać ważną rolę w zapobieganiu chorobom i zaburzeniom funkcjonowania układu krążenia. Jej działanie kardioprotekcyjne wynika z właściwości przeciwutleniających, przeciwzakrzepowych, przeciwzapalnych oraz immunomodulujących [2, 3, 22, 33]. Karotenoid ten przenika barierę krew – mózg, zmniejsza więc ryzyko wystąpienia udaru mózgu oraz barierę między układem krwionośnym a siatkówką i działa ochronnie na narząd wzroku [3]. Ponadto wpływa na funkcje regulacyjne skóry oraz procesy różnicowania keratynocytów, przyspieszając odnowę naskórka [3, 22, 24]. Astaksantyna wykazuje silną aktywność przeciwnowotworową [3], przyczynia się do utrzymania dużej sprawności metabolicznej mięśni, co przyspiesza proces ich regeneracji po intensywnym wysiłku fizycznym [6] oraz wspomaga leczenie niepłodności u mężczyzn [5].

Luteina występuje głównie w zielonych liściach warzyw, w których jest maskowana przez zielony barwnik chlorofil, oraz w żółtych i pomarańczowych warzywach i owocach. Jarmuż, szpinak, kolendra, dynia oraz owoce mango i papaja, a także żółtko jaj to najbogatsze źródła luteiny. Natomiast główne źródła zeaksantyny to kukurydza, papryka czerwona i pomarańczowa oraz żółtko jaja [26]. Źródłem astaksantyny w diecie ludzi są natomiast głównie owoce morza (langusta, krab, krewetka) i ryby (łosoś, pstrąg łososiowy) [7, 15].

Wymienione związki nie są syntetyzowane w organizmie człowieka, dlatego powinny być spożywane wraz z dietą. Obserwowane nieprawidłowości w żywieniu, brak odpowiedniego spożycia produktów będących źródłem tych karotenoidów oraz zwiększone zapotrzebowanie wynikające m.in. z chorób, stosowania diet restrykcyjnych czy narażenia na stres oksydacyjny powinny być wskazówką dla niektórych osób, aby uzupełniały żywienie w suplementy zawierające wymienione związki. Na rynku występują liczne preparaty różniące się składem i zawartością w nich poszczególnych karotenoidów.

Celem pracy był przegląd suplementów diety zawierających ksantofile, dostępnych na polskim rynku, oraz charakterystyka tych preparatów z uwagi na zawartość w nich luteiny, zeaksantyny i/lub astaksantyny.

Material i metody badań

Material do badań stanowiły suplementy diety zawierające wybrane ksantofile – luteinę, zeaksantynę i/lub astaksantynę, które były dostępne na polskim rynku w okresie od 5 lipca do 31 października 2019 roku. Charakterystyka preparatów zawierających ww. ksantofile została opracowana na podstawie informacji umieszczonych przez producentów na opakowaniach, ulotkach dołączonych do tych opakowań, a także informacjach zamieszczonych na stronach internetowych aptek, sklepów zielarskich oraz sklepów z odżywkami.

Dane dotyczące suplementów diety zawierających wymienione karotenoidy porównano pod względem: zawartości poszczególnych ksantofili w 1 dawce preparatu, w zalecanej dziennej dawce do stosowania według producenta, postaci farmaceutycznej, w jakiej występują, ilości dodatkowych składników (związków) obecnych w preparacie, wskazań do stosowania, przeznaczenia dla określonych grup ludności, pory przyjmowania preparatu, wielkości opakowania oraz producenta. Na podstawie zebranych danych obliczono koszt 1 mg ww. ksantofili zawartych w każdym z ocenianych preparatów.

Wyniki i dyskusja

W badanym okresie na polskim rynku stwierdzono obecność 233 suplementów zawierających luteinę, zeaksantynę i/lub astaksantynę. Wśród nich wyróżniono 189 preparatów zawierających luteinę, w tym 105 zawierających luteinę i zeaksantynę, 72 zawierające wyłącznie luteinę, 6 – z luteiną i astaksantyną oraz 6 zawierających wszystkie trzy omawiane karotenoidy (tab. 1).

Odnotowano łącznie 113 suplementów diety zawierających zeaksantynę, z czego jedynie 2 zawierały w swoim składzie wyłącznie ten związek. Obecność astaksantyny stwierdzono w 54 suplementach, przy czym w 42 preparatach występowała ona samodzielnie, a w niewielu suplementach w połączeniu z luteiną i zeaksantyną, co może wynikać z różnych źródeł pozyskiwania tych ksantofili. W porównaniu z wcześniejszymi badaniami Hamulki i Nogał [13], Pogorzelskiej i wsp. [27] oraz Sulich i wsp. [31] stwierdzono znaczny wzrost liczby suplementów zawierających zarówno luteinę, jak i zeaksantynę oraz astaksantynę.

Badane suplementy diety charakteryzowały się dużym zróżnicowaniem pod względem zawartości poszczególnych karotenoidów w jednej dawce, jak również w dziennej dawce proponowanej do spożycia przez producenta (tab. 1). Zawartość luteiny w 1 dawce mieściła się w granicach $0,006 \div 40$ mg, natomiast w zalecanej, dziennej dawce sugerowanej przez producenta – $0,02 \div 40$ mg. Najwięcej suplementów diety zawierało poniżej 1 mg oraz w ilości $20 \div 29$ mg luteiny w 1 dawce, co w obu przypadkach stanowiło po 24 % ogólnej liczby preparatów. Producenci najczęściej zalecali przyjmowanie luteiny dziennie w ilości $6 \div 10$ mg (26 %) oraz $20 \div 29$ mg (27 %), z czego 39 suplementów diety zawierało dawkę równą 10 mg, a 35 suplementów – 20 mg. W przypadku 4 preparatów niepokojące może być zalecanie przez producentów przyjmowania luteiny w dawce aż 40 mg/dzień.

Zawartość zeaksantyny w dostępnych preparatach kształtowała się na znacznie niższym poziomie – $0,02 \div 8$ mg w jednej dawce oraz $0,032 \div 9$ mg/dzień w dawce zaproponowanej przez producenta. Najczęściej zawartość zeaksantyny w suplementach

Tabela 1. Charakterystyka suplementów diety zawierających karotenoidy

Table 1. Profile of dietary supplements with carotenoids

Wyróżnik / Feature	Suplementy zawierające / Supplements containing:		
	luteinę lutein [n] (%)	zeaksantynę zeaxanthin [n] (%)	astaksantynę astaxanthin [n] (%)
Liczba suplementów ogółem Total number of supplements	189 (100)	113 (100)	54 (100)
Ilość karotenoidu w 1 dawce suplementu / The amount of carotenoid per one dose of supplement [mg]			
< 1	45 (23,8)	35 (31,0)	12 (22,2)
1 ÷ 5	40 (21,2)	76 (67,2)	31 (57,3)
6 ÷ 10	38 (20,1)	2 (1,8)	5 (9,3)
11 ÷ 19	12 (6,4)	–	5 (9,3)
20 ÷ 29	46 (24,3)	–	–
≥ 30	8 (4,2)	–	1 (1,9)
Ilość karotenoidu w dziennej dawce suplementu The amount of carotenoid per daily dose of supplement [mg]			
< 1	32 (16,9)	25 (22,1)	8 (14,8)
1 ÷ 5	28 (14,8)	86 (76,1)	26 (48,2)
6 ÷ 10	49 (25,9)	2 (1,8)	13 (24,0)
11 ÷ 19	21 (11,1)	–	6 (11,1)
20 ÷ 29	50 (26,5)	–	–
≥ 30	9 (4,8)	–	1 (1,9)
Forma występowania / Dosage form			
Kapsułki / Capsules	123 (65,2)	84 (74,3)	48 (88,8)
Tabletki / Pills	51 (27,0)	21 (18,6)	3 (5,5)
Kapsułki i tabletki / Capsules and pills	4 (2,2)	1 (0,9)	–
Tabletki musujące / Effervescent tablets	1 (0,5)	–	–
Płyn / Liquid	5 (2,6)	4 (3,5)	–
Żelki / Jelly beans	1 (0,5)	1 (0,9)	1 (1,9)
Saszetki / Sachets	1 (0,5)	1 (0,9)	1 (1,9)
Proszek / Powder	1 (0,5)	1 (0,9)	1 (1,9)
Saszetki i proszek / Sachets and powder	1 (0,5)	–	–
Pastyłki / Pastilles	1 (0,5)	–	–
Liczba pozostałych składników w preparacie / Number of other components in preparation:			
0	15 (7,9)	9 (8,0)	14 (25,9)
1	13 (6,9)	10 (8,8)	5 (9,3)
2 ÷ 10	80 (42,3)	59 (52,2)	30 (55,6)
11 ÷ 20	33 (17,5)	24 (21,2)	2 (3,7)
21 ÷ 30	32 (16,9)	8 (7,1)	3 (5,5)
> 30	16 (8,5)	3 (2,7)	–
Cena 1 mg karotenoidu / Price of 1 mg of carotenoid [zł]			
< 1	153 (81,0)	77 (68,1)	36 (66,7)
1 ÷ 6	24 (12,7)	29 (25,7)	10 (18,5)
7 ÷ 20	7 (3,7)	5 (4,4)	3 (5,5)
> 20	5 (2,6)	2 (1,8)	5 (9,3)

diety mieściła się w granicach $1 \div 5$ mg, zarówno w 1 dawce (68 %), jak i w zalecanej dziennej dawce (76 %). Producenci najczęściej (27 suplementów) zalecali przyjmowanie zeaksantyny w ilości 2 mg na dzień.

W ciągu ostatnich kilku lat wzrosło również zainteresowanie suplementami diety z astaksantyną. Ilość astaksantyny w jednej dawce preparatu wahała się w granicach $0,01 \div 40$ mg, a w zalecanej dziennej dawce – $0,005 \div 40$ mg. Zawartość astaksantyny w 1 dziennej dawce preparatu w 57 % przypadków mieściła się w zakresie $1 \div 5$ mg, przy czym najczęściej występowała w ilości 4 mg na dzień (13 suplementów). Z kolei dawka proponowana przez producentów wynosiła $1 \div 5$ mg/dzień (48 %) lub $6 \div 10$ mg/dzień (24 %), przy czym producenci zalecali przyjmowanie najczęściej 4 mg astaksantyny/dzień (8 suplementów) oraz 8 mg/dzień (7 suplementów).

Popularność preparatów zawierających nie tylko luteinę, ale również inne karotenoidy sprawia, że należy zwrócić szczególną uwagę na dawkę stosowanych suplementów diety. Wymaga to oszacowania maksymalnego poziomu spożycia, który nie spowoduje szkodliwych efektów zdrowotnych. Do tej pory nie ustalono dziennego zapotrzebowania na luteinę. Nie wyznaczono również dawki LOAEL (*Lowest Observed Adverse Effect Level*) ani NOAEL (*No Observed Adverse Effect Level*), ponieważ żadne z badań klinicznych nie wykazało działań niepożądanych związanych z przyjmowaniem dużych dawek luteiny u ludzi. Jak podają Shao i Hathcock [30], metodą oceny ryzyka OSL (*Observed Safe Level*) stwierdzono wysokie bezpieczeństwo stosowania suplementów diety w przypadku dawki luteiny nieprzekraczającej 20 mg na dzień. W ostatnich latach potwierdzono, że luteina spełnia kryteria, jakie zaproponowali Lupton i wsp. [23] i należy je uwzględniać przy opracowywaniu zaleceń dotyczących spożycia tego karotenoidu na poziomie *Dietary Reference Intakes* (DRIs) [28].

W przypadku zeaksantyny zespół ekspertów EFSA uznał za bezpieczne spożycie syntetycznej formy tego związku w ilości 0,75 mg/kg masy ciała dziennie, co odpowiada dziennemu spożyciu 53 mg tego związku dla osoby o masie ciała równiej 70 kg [9]. Natomiast w przypadku astaksantyny zalecane dopuszczalne dzienne spożycie (ADI) nie powinno przekraczać 0,034 mg/kg masy ciała, czyli 2,38 mg na dobę przez człowieka o masie 70 kg [8].

Analizowane suplementy diety występowały (tab. 1) głównie w postaci kapsułek, odpowiednio: 65 % suplementów w przypadku luteiny, 75 % – zeaksantyny oraz 89 % – astaksantyny. Znacznie mniejszy odsetek stanowiły preparaty w formie tabletek.

Z uwagi na liczbę pozostałych składników aktywnych obecnych w ocenianych preparatach (tab. 1), zdecydowana większość suplementów diety to preparaty wieloskładnikowe, czyli zawierające 2 składniki odżywcze lub więcej (poza analizowanymi karotenoidami). W 2019 r. na polskim rynku spośród 233 suplementów diety dostępnych było 186 takich preparatów, co stanowi 80 % ogółu suplementów. Najliczniejszą grupę stanowiły suplementy zawierające od 2 do 10 składników aktywnych. Preparaty

jednoskładnikowe stanowiły natomiast niecałe 10 % (17 z 233). W suplementach diety niezawierających żadnych innych składników poza luteiną, zeaksantyną i/lub astaksantyną oraz w preparatach jednoskładnikowych zawartość omawianych karotenoidów była wyższa. Były one zalecane w przypadku profilaktyki konkretnych schorzeń. Preparaty wieloskładnikowe zawierały najczęściej znacznie mniejsze ilości poszczególnych karotenoidów i były przeznaczone do stosowania w celu uzupełnienia diety w witaminy i składniki mineralne.

W niniejszej pracy dokonano analizy suplementów diety ze względu na cenę 1 mg poszczególnych karotenoidów zawartych w danym preparacie (tab. 1). Cena ta została wyliczona na podstawie wartości średniej w przypadku preparatów, które występowały w więcej niż jednym opakowaniu bądź w różnych formach farmaceutycznych (np. tabletki i kapsułki). Na podstawie uzyskanych wyników można zauważyć, że w zdecydowanej większości preparatów cena 1 mg karotenoidów wynosiła mniej niż 1 zł. Wynika to przede wszystkim z zawartości poszczególnych karotenoidów w jednej dawce. Suplementy zawierające duże ilości analizowanych karotenoidów zawierały niewielkie ilości innych substancji dodatkowych i były stosowane głównie w leczeniu konkretnych schorzeń, np. luteina i zeaksantyna w celu poprawy funkcji wzrokowych, dlatego cena 1 mg w takich preparatach była niższa.

Na podstawie zgromadzonych danych (tab. 2) stwierdzono, że największy odsetek suplementów zawierających luteinę i zeaksantynę był przeznaczony do stosowania w celu ochrony narządu wzroku i poprawy ostrości widzenia, odpowiednio: 62 % w przypadku luteiny i 84 % – zeaksantyny. W odniesieniu do suplementów z astaksantyną największy odsetek stanowiły preparaty przeznaczone do stosowania w profilaktyce schorzeń układu sercowo-naczyniowego (28 %), które wspomagają również utrzymanie prawidłowego poziomu cholesterolu i triacylogliceroli we krwi. Taki rozkład wskazań do stosowania poszczególnych ksantofili znajduje odzwierciedlenie w badaniach naukowych. Liczne dowody potwierdzają pozytywny wpływ luteiny i zeaksantyny na wzrok [1, 20, 25] i funkcje poznawcze [22, 25, 32, 35], a astaksantyny – jako substancji o silnym działaniu przeciwutleniającym i kardioprotekcyjnym [2, 19, 22, 33].

Po analizie dostępnych na polskim rynku suplementów diety zawierających karotenoidy stwierdzono, że w 90 % przypadków były one skierowane do osób dorosłych (tab. 2). Wśród nich można wyróżnić także preparaty dostępne tylko dla kobiet, m.in. aktywnych fizycznie, będących w ciąży bądź karmiących piersią, które mają skład dostosowany do zmieniających się warunków fizjologicznych kobiety oraz potrzeb dziecka, oraz takie, które powinny być stosowane wyłącznie przez mężczyzn, np. w celu uzupełnienia niedoborów spowodowanych intensywnym wysiłkiem fizycznym lub utrzymujących wysoki poziom testosteronu. Odnotowano także 12 suplementów

Tabela 2. Charakterystyka suplementów zawierających karotenoidy pod względem wskazań do stosowania

Table 2. Profile of supplements with carotenoids in terms of their indications for use

Wyróżnik / Feature	Suplementy zawierające: Supplements containing:		
	luteinę lutein [n] ([%])	zeaksantynę zeaxanthin [n] ([%])	astaksantynę astaxanthin [n] ([%])
Liczba suplementów ogółem Total number of supplements	189 (100)	113 (100)	54 (100)
Wskazanie do stosowania / Indication for use			
Wzrok / Vision	118 (62,4)	95 (84,1)	8 (14,8)
Niedobór witamin i składników mineralnych Shortage of vitamins and minerals	51 (27,0)	8 (7,1)	–
Działanie kompleksowe / Comprehensive action	9 (4,8)	4 (3,5)	15 (27,8)
Układ nerwowy / Nervous system	5 (2,6)	4 (3,5)	1 (1,9)
Ochrona przed wolnymi rodnikami Protection against free radicals	2 (1,1)	2 (1,8)	9 (16,6)
Układ kostny / Skeletal system	2 (1,1)	–	1 (1,9)
Skóra / Skin	1 (0,5)	–	2 (3,7)
Układ krążenia / Circulatory system	1 (0,5)	–	15 (27,8)
Układ rozrodczy / Reproductive system	–	–	3 (5,5)
Przeznaczenie dla różnych grup ludności / Intended for various groups of the population			
Dzieci / Children	4 (2,1)	–	1 (1,9)
Dorośli / Adults: ze szczególnym uwzględnieniem suplementów diety przeznaczonych / with particular focus on dietary supplements intended for:	167 (88,4)	107 (94,6)	52 (96,2)
– tylko dla kobiet / women only	8 (4,2)	3 (2,7)	–
– tylko dla mężczyzn / men only	7 (3,7)	1 (0,9)	1 (1,9)
Dorośli i dzieci / Adults and children	3 (1,6)	3 (2,7)	1 (1,9)
Dorośli i młodzież / Adults and teenagers	3 (1,6)	–	–
Osoby starsze / Elderly people	12 (6,3)	3 (2,7)	–
Zalecana pora przyjmowania / Recommended time of taking			
Przed posiłkiem / Before meal	5 (2,6)	2 (1,8)	1 (1,9)
W trakcie posiłku / During meal	68 (36,0)	39 (34,5)	31 (57,3)
Po posiłku / After meal	14 (7,4)	7 (6,2)	5 (9,3)
Między posiłkami / Between meals	2 (1,1)	1 (0,9)	1 (1,9)
Przed posiłkiem/po posiłku / Before meal/after meal	1 (0,5)	1 (0,9)	1 (1,9)
W trakcie posiłku/po posiłku During meal/after meal	13 (6,9)	7 (6,2)	2 (3,7)
W trakcie posiłku/między posiłkami During meal/between meals	–	1 (0,9)	–
Brak informacji / No information available	86 (45,5)	55 (48,6)	13 (24,0)

zawierających luteinę, w tym 3 również zeaksantynę, które były przeznaczone wyłącznie dla osób starszych. Takie preparaty stanowiły ok. 5 % wszystkich dostępnych suplementów z karotenoidami. Dzięki obecności w ich nazwach takich sformułowań, jak

„senior”, „silver” czy „50+” były one łatwo identyfikowalne wśród całej gamy preparatów. Zwiększyła się także liczba suplementów diety przeznaczonych dla młodszych grup wiekowych. Obecnie na polskim rynku dostępnych jest 12 takich preparatów, co stanowi 5 % ogółu suplementów. Ze względu na pozytywny wpływ omawianych karotenoidów na funkcjonowanie układu nerwowego, rozwój wzroku i ogólnie funkcji poznawczych niemowląt i małych dzieci, w ostatnim czasie wzrosło zainteresowanie badaczy karotenoidami w tym aspekcie [21, 35].

Ulotki informacyjne części analizowanych preparatów zawierały zalecenia dotyczące pory przyjmowania danych suplementów diety w zależności od spożywanych posiłków (tab. 2). Taka informacja była dołączona do 55 % suplementów zawierających luteinę, 51 % – zawierających zeaksantynę i 76 % – zawierających astaksantynę. Zdecydowana większość preparatów (ponad 68 %) powinna być zażywana w trakcie spożywanego posiłku. W przypadku ok. 13 % preparatów producenci informowali, że powinny być spożywane zaraz po posiłku, natomiast ok. 11 % suplementów opatrzone wskazaniem przyjmowania preparatu w trakcie posiłku lub po nim.

Wchłanianie karotenoidów odbywa się na zasadzie dyfuzji biernej w jelitach, następnie za pomocą lipoprotein są one transportowane wraz z krwią do tkanek docelowych. Prawidłowe wchłanianie karotenoidów ma miejsce wyłącznie w obecności kwasów tłuszczowych i soli żółciowych ze względu na lipofilowy charakter tych związków. Skuteczność suplementacji tymi związkami zależy zatem w dużym stopniu od zapewnienia precyzyjnych wytycznych dotyczących spożywania odpowiedniej dawki karotenoidów wraz z posiłkiem zawierającym tłuszcz, który sprzyja włączeniu ich do miceli i ułatwia późniejsze wchłanianie [11, 20, 34]. Wiele suplementów diety występuje w formie kapsułek, gdyż wchłaniają się lepiej, jeśli są zawieszane w mieszaninie różnych kwasów tłuszczowych. Należy pamiętać, że błonnik pokarmowy, zwłaszcza frakcje rozpuszczalne w wodzie, zmniejsza wchłanianie karotenoidów poprzez ich wychwytywanie i oddziaływanie z kwasami żółciowymi, co prowadzi do wzrostu wydalania z kałem tłuszczów i substancji rozpuszczalnych w tłuszczach, takich jak karotenoidy [14]. Suplementy z karotenoidami nie powinny więc być przyjmowane równocześnie z produktami zawierającymi duże ilości błonnika pokarmowego. Ponadto na skuteczność suplementacji może także wpływać stan zdrowia pacjenta, obecność pasożytów w przewodzie pokarmowym czy interakcje z innymi składnikami żywności, np. z białkami lub substytutami tłuszczu, które obniżają wchłanianie karotenoidów. Wiek wydaje się być kolejnym czynnikiem przyczyniającym się do gorszej biodostępności karotenoidów [13, 14, 25, 34].

Preparaty dostępne na polskim rynku zawierające ksantofile pochodziły głównie z Polski (53 %). Najpopularniejszymi polskimi producentami byli: Olimp Laboratories oraz Aflofarm. Suplementy diety pochodzące z importu najczęściej były produkowane

przez firmy amerykańskie (35 %), takie jak: Now Foods, Swanson Health Products oraz Piping Rock Health Products.

Dokonano również analizy suplementów diety pod względem dostępności ich opakowań w różnych wersjach wielkościowych (tab. 3). Większość producentów tych preparatów oferowało swoje produkty w opakowaniach w jednej wersji wielkościowej – 82 % (191 preparatów), najczęściej po 30 lub 60 szt. w jednym opakowaniu.

Tabela 3. Podział suplementów zawierających karotenoidy według wielkości opakowań
Table 3. Breakdown of supplements containing carotenoids by packet size

Wersje opakowań Packet versions	Liczba suplementów Number of supplements	Udział w ogólnej sumie suplementów Share in the total supplements [%]
Jedna wersja / One version	191	82,0
Dwie wersje / Two versions	37	15,9
Trzy wersje / Three versions	3	1,3
Cztery wersje / Four versions	1	0,4
Pięć wersji / Five versions	1	0,4

Stale rosnąca liczba suplementów diety zawierających analizowane ksantofile [13, 27, 31], jak również pochodzenie tych związków (naturalne, syntetyczne) [18, 22], ich biodostępność oraz zalecane dzienne dawki spożycia wskazują na konieczność prowadzenia badań w tym zakresie. W badaniach *in vitro* wykazano bowiem, że naturalna astaksantyna z mikroalg *Haematococcus pluvialis* może być ponad 50 razy silniejsza niż syntetyczna w wychwytywaniu tlenu singletowego i prawie 20 razy bardziej skuteczna w eliminacji wolnych rodników [24]. Należy również pamiętać, że zbyt duże dawki karotenoidów, w tym również ksantofili, mogą działać prooksydacyjnie, prowadząc do stresu oksydacyjnego [20]. Wykazano ponadto, że poszczególne karotenoidy spożywane razem i w dużych dawkach, np. w postaci suplementów, współzawodniczą o miejsca we frakcjach chylomikronów, co prawdopodobnie wynika z ich konkurencyjności w absorpcji jelitowej, włączaniu do chylomikronów lub obu tych mechanizmów równocześnie, stąd też przyjmowanie ich w tym samym czasie może wywoływać efekt odwrotny od zdrowotnego [14, 20, 24].

Wnioski

1. W badanym okresie na rynku stwierdzono obecność 233 suplementów zawierających ksantofile, przy czym największą grupę stanowiły preparaty z luteiną (189) i z zeaksantyną (113), a najmniejszą zawierające astaksantynę (54).
2. Zawartość omawianych związków w zalecanej dziennej dawce zależała przede wszystkim od karotenoidu oraz wskazań do stosowania danego suplementu i wahała się w szerokim zakresie 0,005 ÷ 40 mg/dzień.

3. Suplementy diety zawierające luteinę i zeaksantynę były przeznaczone głównie do stosowania w celu ochrony wzroku, natomiast z astaksantyną – z przeznaczeniem dla osób ze schorzeniami układu krążenia oraz jako uzupełniające, które wykazuje działanie kompleksowe na organizm.
4. Biorąc pod uwagę stale wzrastającą liczbę suplementów diety zawierających oceniane ksantofile, ich poziomy w zalecanej dziennej dawce, jak również biodostępność z preparatów i brak zaleceń odnośnie do ich spożycia zarówno z dietą jak i suplementami należy prowadzić cykliczne analizy rynku suplementów diety, mające na celu weryfikację ich dostępności i spożycia w kontekście prowadzonych aktualnie badań naukowych.

Literatura

- [1] Alves-Rodrigues A., Shao A.: The science behind lutein. *Toxicol. Lett.*, 2004, 150 (1), 57-83.
- [2] Ambati R.R., Phang S.M., Ravi S., Aswathanarayana R.G.: Astaxanthin: Sources, extraction, stability, biological activities and its commercial applications – a review. *Mar. Drugs*, 2014, 12, 128-152.
- [3] Aziza E., Batool R., Akhtar W., Rehman S., Shahzad T., Malik A., Shariatie M.A., Laishevtcev A., Plygun S., Heydari M., Rauf A., Arifk S.A.: Xanthophyll: Health benefits and therapeutic insights. *Life Sci.*, 2020, 240, 1-12.
- [4] Bernstein P.S., Li B., Vachali P.P., Gorusupudi A., Shyam R., Henriksen B.S., Nolan J.M.: Lutein, zeaxanthin, and meso-zeaxanthin: The basic and clinical science underlying carotenoid-based nutritional interventions against ocular disease. *Prog. Retin. Eye Res.*, 2016, 50, 34-66.
- [5] Comhaire F.H., Gareem Y.E., Mahmoud A., Eertmans F., Schoonjans F.: Combined conventional/antioxidant "Astaxanthin" treatment for male infertility: A double blind, randomized trial. *Asian J. Androl.*, 2005, 7 (3), 257-262.
- [6] Djordjevic B., Baralic I., Kotur-Stevuljevic J., Stefanovic A., Ivanisevic J., Radivojevic N., Andjelkovic M., Dikic N.: Effect of astaxanthin supplementation on muscle damage and oxidative stress markers in elite young soccer players. *J. Sport Med. Phys. Fit.*, 2012, 52, 382-392.
- [7] EFSA: Opinion of the Scientific Panel on additives and products or substances used in animal feed (FEEDAP) on the safety of use of colouring agents in animal nutrition. Part I. General principles and astaxanthin. *EFSA J.*, 2005, 291, 1-40.
- [8] EFSA: Scientific opinion on the safety of astaxanthin-rich ingredients (AstaREAL A1010 and AstaREAL L10) as novel food ingredients. *EFSA J.*, 2014, 12(7), 1-35.
- [9] EFSA: Statement on the safety of synthetic zeaxanthin as an ingredient in food supplements. *EFSA J.*, 2012, 10 (10), 1-14.
- [10] Eggersdorfer M., Wyss A.: Carotenoids in human nutrition and health. *Arch. Biochem. Biophys.*, 2018, 652, 18-26.
- [11] Faulks R.M., Southon S.: Challenges to understanding and measuring carotenoid bioavailability. *Biochim. Biophys. Acta*, 2005, 1740, 95-100.
- [12] Grudzinski W., Piet M., Luchowski R., Reszczynska E., Welc R., Paduch R., Gruszecki W.I.: Different molecular organization of two carotenoids, lutein and zeaxanthin, in human colon epithelial cells and colon adenocarcinoma cells. *Spectrochim. Acta A.*, 2018, 188, 57-63.
- [13] Hamułka J., Nogal D.: Ocena oraz charakterystyka suplementów diety zawierających luteinę i zeaksantynę obecnych na polskim rynku farmaceutycznym. *Rocz. PZH*, 2008, 59 (1), 47-57.

- [14] Hamulka J.: Badania nad wpływem wybranych frakcji włókna pokarmowego na wykorzystanie luteiny w warunkach *in vitro* i *in vivo*. Wyd. SGGW, Warszawa 2009.
- [15] Higuera-Ciajara I., Félix-Valenzuela L., Goycoolea F.M.: Astaxanthin: A review of its chemistry and applications. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 2006, 46 (2), 185-196.
- [16] Jackson H., Braun C.L., Ernst H.: The chemistry of novel xanthophyll carotenoids. *Am. J. Cardiol.*, 2008, 101 (10), S50-S57.
- [17] Jomova K., Valko M.: Health protective effects of carotenoids and their interactions with other biological antioxidants. *Eur. J. Med. Chem.*, 2013, 70, 102-110.
- [18] Khalil M., Raila J., Ali M., Islam K.M.S., Schenk R., Krause J., Schweigert F.J., Rawel H.: Stability and bioavailability of lutein ester supplements from Tagetes flower prepared under food processing conditions. *J. Funct. Foods.*, 2012, 4 (3), 602-610.
- [19] Kishimoto Y., Yoshida H., Kondo K.: Potential anti-atherosclerotic properties of astaxanthin. *Mar. Drugs*, 2016, 14 (2), 1-13.
- [20] Krinsky N.I., Johnson E.J.: Carotenoid actions and their relation to health and disease. *Mol. Aspects Med.*, 2005, 26, 459-516.
- [21] Lieblein-Boff J.C., Johnson E.J., Kennedy A.D., Lai C.S., Kuchan M.J.: Exploratory metabolomic analyses reveal compounds correlated with lutein concentration in frontal cortex, hippocampus, and occipital cortex of human infant brain. *PLoS One*, 2015, 10 (8), #0136904.
- [22] López-Cervantes J., Sánchez-Machado D.I.: Astaxanthin, lutein, and zeaxanthin In: *Nonvitamin and Nonmineral Nutritional Supplements*. Eds. S.M. Nabavi, A.S. Silva. Academic Press, London 2019, pp. 19-25.
- [23] Lupton J.R., Atkinson S.A., Chang N., Fraga C.G., Levy J., Messina M., Richardson D.P., van Ommen B., Yang Y., Griffiths J.C., Hathcock J.: Exploring the benefits and challenges of establishing a DRI-like process for bioactives. *Eur. J. Nutr.*, 2014, 53, S1-S9.
- [24] Milani A., Basirnejad M., Shahbazi S., Bolhassani A.: Carotenoids: Biochemistry, pharmacology and treatment. *Br. J. Pharmacol.*, 2017, 174, 1290-1324.
- [25] Nwachukwu I.D., Udenigwe C.C., Aluko R.E.: Lutein and zeaxanthin: Production technology, bioavailability, mechanisms of action, visual function, and health claim status. *Trends Food Sci. Technol.*, 2016, 49, 74-84.
- [26] Perry A., Rasmussen H., Johnson E.J.: Xanthophyll (lutein, zeaxanthin) content in fruits, vegetables and corn and egg products. *J. Food Compos. Anal.*, 2009, 22, 9-15.
- [27] Pogorzelska E., Hamulka J., Wawrzyniak A.: Astaksantyna – budowa, właściwości i możliwości zastosowania w żywności funkcjonalnej. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2016, 1 (104), 5-16.
- [28] Ranard K.M., Sookyong J., Mohn E.S., Griffiths J.C., Johnson E.J., Erdman J.W.: Dietary guidance for lutein: Consideration for intake recommendations is scientifically supported. *Eur. J. Nutr.*, 2017, 56, S37-S42.
- [29] Rao A.V., Rao L.G.: Carotenoids and human health. *Pharmacol. Res.*, 2007, 55, 207-216.
- [30] Shao A., Hathcock J.N.: Risk assessment for the carotenoids lutein and lycopene. *Regul. Toxicol. Pharmacol.*, 2006, 45, 289-298.
- [31] Sulich A., Hamulka J., Nogal D.: Dietary sources of lutein in adults suffering eye disease (AMD/Cataracts). *Rocz. PZH*, 2015, 66 (1), 55-60.
- [32] Vishwanathan R., Iannaccone A., Scott T.M., Kritchevsky S.B., Jennings B.J., Carboni G., Forma G., Satterfield S., Harris T., Johnson K.C., Schalch W., Renzi L.M., Rosano C., Johnson E.J.: Macular pigment optical density is related to cognitive function in older people. *Age Ageing*, 2014, 43 (2), 271-275.

- [33] Yoshida H., Yanai H., Ito K., Tomono Y., Koikeda T., Tsukahara H., Tada N.: Administration of natural astaxanthin increases serum HDL-cholesterol and adiponectin in subjects with mild hyperlipidemia. *Atherosclerosis*, 2010, 209 (2), 520-523.
- [34] Zaripheh S., Erdman J.W.: Factors that influence the bioavailability of xanthophylls. *J. Nutr.*, 2002, 132 (3), 531S-534S.
- [35] Zielińska M.A., Wesolowska A., Pawlus B., Hamułka J.: Health effects of carotenoids during pregnancy and lactation. *Nutrients*, 2017, 9, 1-25.

ASSESSMENT OF AVAILABILITY AND COMPOSITION OF DIETARY SUPPLEMENTS CONTAINING XANTHOPHYLLS – LUTEIN, ZEAXANTHIN AND ASTAXANTHIN

Summary

Lutein, zeaxanthin and astaxanthin are classified as xanthophylls, viz. hydroxyl derivatives of carotenes, which are compounds showing strong health-promoting properties. They affect proper functioning of many internal systems and organs. Human body is not able to synthesize the above mentioned xanthophylls and their intake with food is relatively low, therefore the range of dietary supplements with those compounds keeps developing and shortage thereof may be replenished.

The objective of the research study was to review dietary supplements containing lutein, zeaxanthin and astaxanthin, that were available in the Polish market in a period from 5th July to 31st October 2019. The profile of dietary supplements was developed on the basis of information on the packets, in the leaflets attached to those packets and on information on the websites of pharmacies, herbal stores and nutrients-selling stores. Within the period studied 233 dietary supplements were found: 72 with lutein, 2 with zeaxanthin, 42 with astaxanthin, 105 with lutein and zeaxanthin, 6 with lutein and astaxanthin and 6 with all three carotenoids. In a recommended daily dose, the content of the compounds discussed depended, first of all, on the indications for use of the preparations and it ranged 0.02 ÷ 40 mg as for lutein, 0.032 ÷ 9 mg as for zeaxanthin and 0.005 ÷ 40 mg as for astaxanthin. The dietary supplements containing lutein (62 % of preparations) and zeaxanthin (84 % of preparations) were intended to ensure proper vision. In the case of preparations with astaxanthin, their comprehensive effect was pointed out and they were recommended for use in persons with cardiovascular diseases (28 % for each).

Key words: dietary supplements, xanthophylls, lutein, zeaxanthin, astaxanthin, content in supplements, availability on the Polish market ☒