

Znaczenie żywności funkcjonalnej, nutraceutyków, w tym astaksantyny w żywieniu człowieka

The significance of functional foods, nutraceuticals, including astaxanthin in human nutrition

Kinga Lis¹

Katedra Technologii Nieorganicznej i Biotechnologii Środowiska
Wydział Inżynierii i Technologii Chemicznej
Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki w Krakowie
ORCID: [0000-0002-0108-079X](https://orcid.org/0000-0002-0108-079X)

Henryk Kołoczek

Katedra Technologii Nieorganicznej i Biotechnologii Środowiska
Wydział Inżynierii i Technologii Chemicznej
Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki w Krakowie
ORCID: [0000-0001-9766-8215](https://orcid.org/0000-0001-9766-8215)

Streszczenie

Żywienie odgrywa niezmiernie istotną rolę w zachowaniu prawidłowej kondycji ciała i zdrowia człowieka. Mimo to obecnie obserwuje się wiele złych nawyków żywieniowych, związanych z trybem pracy, nieustannym pośpiechem czy stresem. Wszystkie te czynniki przyczyniają się do występowania poważnych dietozależnych chorób cywilizacyjnych, wśród których najbardziej dotkliwe są: cukrzyca, choroby serca i układu krążenia czy nowotwory, stanowiące jedne z najczęstszych przyczyn zgonów w XXI w. Naprzeciw temu wychodzi jednak nieustanny rozwój zarówno w sektorze żywienia, jak i farmacji, a coraz większe znaczenie zaczynają odgrywać nutraceutyki i żywność funkcjonalna. Produkty te stoją na pograniczu farmaceutyków i produktów spożywczych, a ich rolą jest umożliwienie wykorzystania wartościowych związków bioaktywnych zawartych w pożywieniu. Jednym z najcenniejszych nutraceutyków jest astaksantyna, którą obecnie uznaje się za najsilniejszy spośród znanych przeciwutleniaczy. Jej nieporównywalnie wysoka aktywność antyoksydacyjna leży u podstaw szerokiego spektrum zastosowań, wśród których te najbardziej istotne dotyczą ludzkiego zdrowia. Właściwości prozdrowotne astaksantyny obejmują działanie przeciwzapalne, przeciwstarzeniowe oraz przeciwnowotworowe. Astaksantyna odgrywa także niebagatelną rolę w leczeniu i profilaktyce cukrzycy (ze szczególnym uwzględnieniem cukrzycy typu 2), chorób neurodegeneracyjnych i układu krążenia. Zainteresowanie astaksantyną nieustannie rośnie, a nowe możliwości jej pozyskiwania i zastosowania są przedmiotem badań wielu naukowców. Coraz większa uwaga skierowana jest w stronę astaksantyny otrzymywanej z drożdży *Phaffia rhodozyma*, a na rynku obserwuje się pojawianie nowych produktów zawierających astaksantynę drożdżową. Rosnące zainteresowanie astaksantyną jest także widoczne na giełdach światowych. Niniejsza praca ma na celu przedstawienie astaksantyny w roli składnika żywno-

¹ Autor korespondencyjny: kinga.lis@doktorant.pk.edu.pl

ści funkcjonalnej, a także zwrócenie uwagi czytelnika na jej ogromny potencjał aplikacyjny, umożliwiającą walkę z chorobami dietozależnymi.

Słowa kluczowe

nutraceutyki, żywność funkcjonalna, astaksantyna, choroby dietozależne

Abstract

Nutrition plays an extremely important role in maintaining proper body condition and human health. Nevertheless, many bad eating habits related to work mode, constant rush or stress are observed. These factors contribute to the serious civilization diet-related diseases, among which the most severe are: diabetes, cardiovascular disease or tumor. However, the problem is not only being countered by constant development in both the food and pharmaceutical sectors, but also nutraceuticals and functional foods. These products are on the borderline between pharmaceuticals and food products, and their role is to enable the use of valuable bioactive compounds contained in food. One of the most valuable nutraceutical is astaxanthin, which is now considered to be the strongest known antioxidant. Its incomparably high antioxidant activity underpins a wide range of applications, the most important of which concern human health. Astaxanthin's health-promoting properties include anti-inflammatory, anti-aging and anticancer properties. Astaxanthin also plays a significant role in treatment and prevention of diabetes (with particular attention to type II diabetes), neurodegenerative and cardiovascular diseases. The interest in astaxanthin is constantly growing, and new possibilities of its acquisition and application are being researched by scientists. More and more attention is directed towards astaxanthin obtained from *Phaffia rhodozyma* yeast, and new products containing yeast astaxanthin are being introduced. Growing interest in astaxanthin is also visible on world markets. The aim of this work is to present astaxanthin as a functional food ingredient, and to draw the reader's attention to its enormous application potential to fight against diet-related diseases.

Keywords

nutraceuticals, functional foods, astaxanthin, diet-related diseases

JEL: I10, I12, I19

1. Wprowadzenie

Żywnienie stanowi nieodzowny aspekt zdrowia każdego człowieka. Prawidłowa, zbilansowana dieta, bogata we wszystkie niezbędne składniki odżywcze, witaminy i minerały w połączeniu z aktywnym trybem życia pozwala na utrzymanie zdrowia i kondycji ciała na najwyższym poziomie². Mimo rosnącej świadomości ludzi dotyczącej wpływu diety na zdrowie, ciągle obserwuje się wiele negatywnych nawyków żywieniowych. Związane jest to często z trybem życia i pracy, który obecnie sprowadza się do ciągłego braku czasu i nieustającego pośpiechu czy spożywania małowartościowych i często nieregularnych posiłków. Wszechobecny stres, który został określony mianem choroby

² L. Corzo, L. Fernández-Novoa, I. Carrera, O. Martinez, S. Rodriguez, R. Alejo, R. Cacabelos, *Nutrition, Health, and Disease: Role of Selected Marine and Vegetal Nutraceuticals*, „Nutrients” 2020, nr 12, s. 747.

XXI w.³, oddziałuje zarówno na zdrowie psychiczne, jak i fizyczne człowieka. Wszystko to skutkuje pogorszeniem ogólnego stanu organizmu, a w konsekwencji może doprowadzić do poważnych chorób, które – według danych statystycznych – najczęściej przyczyniają się do śmierci ludzi na całym świecie, tj. cukrzyca czy chorób układu krążenia⁴.

Dlatego też coraz większą rolę w żywieniu człowieka przypisuje się tzw. żywności specjalnego przeznaczenia medycznego czy żywności funkcjonalnej, która stanowi ogromne wyzwanie m.in. dla technologów żywienia czy biotechnologów⁵. Pierwsza kategoria pozostaje w większości przypadków zarezerwowana dla osób wymagających specjalnego postępowania dietetycznego i tych, którym dostarczanie składników odżywczych niezbędnych do prawidłowego funkcjonowania organizmu sprawia trudności bądź nie jest możliwe (np. wskutek przebytych chorób, zabiegów, leczenia)⁶. Z kolei żywność funkcjonalna wydaje się niedocenianym jak dotychczas rozwiązaniem, które jest dostępne dla każdego człowieka, a korzyści zdrowotne związane z przyjmowaniem takiej żywności są wymierne. Nutraceutyki to produkty będące na pograniczu farmaceutyków i produktów spożywczych, które oprócz swojej podstawowej roli, jaką jest odżywienie, stanowią także ogromne źródło cennych związków aktywnych i realnie wpływają na zdrowie⁷. Żywność funkcjonalna, a także jej składniki zyskują coraz więcej uwagi również ze względu na to, że związki wykazujące działanie bioaktywne są pochodzenia naturalnego, a więc dodatkowo wpisują się w trend panujący wśród konsumentów.

Jednym z niezwykle cennych składników żywności funkcjonalnej jest astaksantyna – karotenoid otrzymywany naturalnie głównie z alg oraz tzw. czerwonych drożdży. Astaksantynę charakteryzuje ogromna aktywność antyoksydacyjna, która – według danych literaturowych – znacząco przewyższa tę charakteryzującą powszechnie znane

³ R. Chudzik, K. Jarosz, M. Gołębiowska, B. Gołębiowska, *Stres chorobą XXI wieku?*, „Journal of Education, Health and Sport” 2017, nr 7, s. 20–26.

⁴ Raport: *European Cardiovascular Disease Statistics 2017 edition*, <http://www.chnheart.org/images/CVD-statistics-report-August-2017.pdf> [dostęp 5.05.2020]; Raport Eurostat: *Cardiovascular Diseases Statistics – Death from Cardiovascular Diseases*, https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Cardiovascular_diseases_statistics#Deaths_from_cardiovascular_diseases [dostęp 5.05.2020]; Raport WHO: *The top 10 causes of death*, <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death> [dostęp 28.04.2020].

⁵ L. Corzo i in., *op. cit.*

⁶ P. Mirosz, *Żywność specjalnego przeznaczenia medycznego – kryteria kwalifikacji na podstawie przepisów unijnych*, 2018, <https://ncez.pl/informacje-dla-producentow-zywnosci/informacje-ogolne/zywnosc-specjalnego-przeznaczenia-medycznego---kryteria-kwalifikacji-na-podstawie-przepisow-unijnych> [dostęp 29.04.2020]; E. Kolarzyk, B. Wójtowicz, *Żywność nowej generacji*, <http://www.zhid.wl.cm.uj.edu.pl/documents/2225372/83688538/%C5%BBBywno%C5%9B%C4%87%20nowej%20generacji.pdf> [dostęp 29.04.2020].

⁷ L. Corzo i in., *op. cit.*; S. Dutta, K.M. Ali, S.K. Dash, B. Giri, *Role of nutraceuticals on health promotion and disease prevention: a review*, „Journal of Drug Delivery and Therapeutics” 2018, nr 8, s. 1–15.

antyoksydanty⁸. Dzięki niezwykle silnym właściwościom przeciwutleniającym naturalna astaksantyna znalazła szerokie zastosowanie w żywieniu, medycynie i farmacji, a jej potencjał aplikacyjny jest ciągle rozwijany. Szerokie spektrum właściwości prozdrowotnych astaksantyny pozwoliło na zaklasyfikowanie jej jako składnika żywności funkcjonalnej.

Suplementacja astaksantyny pomaga wspierać układ odpornościowy człowieka, wykazuje działanie przeciwzapalne, przeciwstarzeniowe, działa ochraniająco na wątrobę oraz jest szczególnie istotna w walce z chorobami układu krążenia i cukrzycą⁹. Jak wspomniano powyżej, choroby te stanowią poważny problem ludzkości XXI w. i z tego względu związki bioaktywne, w tym astaksantyna, są szczególnie doceniane za ich właściwości prozdrowotne.

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie astaksantyny w roli składnika żywności funkcjonalnej, o szerokim spektrum zastosowań. Choroby dietozależne, z którymi borykają się ludzie na całym świecie, stanowią poważną przyczynę wielu zgonów, dlatego tak ważna jest odpowiednia profilaktyka oraz świadome żywienie. Według licznych badań statystycznych najbardziej dotkliwe są choroby serca i układu krążenia oraz cukrzyca. Nutraceutyki, takie jak astaksantyna, dzięki swoim właściwościom realnie wpływają na stan zdrowia, a w połączeniu ze zbilansowaną dietą oraz aktywnością fizyczną mogą znacząco przyczynić się do jego poprawy.

2. Choroby dietozależne jako skutki niewłaściwego żywienia

Niewłaściwe odżywianie może w znacznym stopniu przyczynić się do rozwoju wielu chorób określanymi jako dietozależne. Prawidłowe odżywianie, czyli dostarczanie odpowiedniej liczby kalorii dostosowanej do wieku, poziomu aktywności fizycznej, trybu życia i indywidualnych potrzeb organizmu oraz stosowanie zbilansowanej diety bogatej w warzywa i owoce¹⁰ w dużej mierze pozwala uchronić się bądź w znacznym stopniu ograniczyć ryzyko występowania chorób dietozależnych¹¹. Do tych najczęściej występujących schorzeń należy zaliczyć przede wszystkim cukrzycę (szczególnie typu 2), otyłość, nadciśnienie tętnicze oraz choroby serca i układu krążenia. W Polsce na choroby dietozależne cierpi aż 12 mln Polaków, w tym głównie z powodu chorób układu krążenia i serca. Według danych statystycznych i World Health Organization (WHO),

⁸ Raport: *Staying Sharp: Astaxanthin Supplementation & Cognitive Health*, https://www.eylif.is/wp-content/uploads/2019/11/Algalif_Whitepaper_Cognitive-Health_1117_web.pdf [dostęp 5.05.2020].

⁹ S. Fakhri, F. Abbaszadeh, L. Dargahi, M. Jorjani, *Astaxanthin: A Mechanistic Review on its Biological Activities and Health benefits*, „Pharmacological Research” 2018, s. 1–45.

¹⁰ Raport WHO: *Healthy diet*, <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet>, [dostęp 28.04.2020].

¹¹ H. Makala, *Żywność funkcjonalna i jej znaczenie na współczesnym rynku*, „Przemysł Spożywczy” 2018, nr 1, s. 20–24.

główną przyczyną śmierci na całym świecie nieustannie od wielu lat pozostają schorzenia układu krążenia¹². Tylko w 2017 r. z tego powodu zmarło prawie 18 mln ludzi na całym świecie, z czego większość zgonów dotyczyło osób ze średnio i mało zamożnych obszarów¹³. W Europie choroby serca spowodowały 3,9 mln śmierci w 2017 r., co stanowiło 45% wszystkich zgonów¹⁴. Również w 2017 r. niewłaściwa dieta, a więc szeroko rozumiane nieprawidłowe żywienie przyczyniło się do śmierci 11 mln ludzi na całym świecie¹⁵. Odnosząc się do danych International Diabetes Federation (IDF), w 2019 r. 419 mln ludzi borykało się z cukrzycą. Szacuje się, że do 2045 r. wartość ta wzrośnie nawet do 700 mln¹⁶. Na podstawie przytoczonych danych można niewątpliwie stwierdzić, że żywienie człowieka ma niebagatelny wpływ na zdrowie, a nawet życie ludzi. Z tego też względu coraz częściej konsumenci sięgają po żywność funkcjonalną, która oprócz spełnienia swojej podstawowej roli, pomoże odpowiednio zadbać także o prawidłowe funkcjonowanie organizmu.

3. Nutraceutyki i żywność funkcjonalna w przewyżnianiu chorób dietozależnych

Wychodząc naprzeciw wymaganiom, jakie stawia przed człowiekiem ciągły rozwój i poszukiwanie innowatorskich produktów i rozwiązań, sektor żywności i żywienia oraz farmaceutyków również znacząco się zmienia. Oprócz standardowych artykułów spożywczych i lekarstw na rynku coraz częściej można spotkać produkty opisane jako żywność funkcjonalna, nutraceutyki czy suplementy diety.

Nutraceutyki, tak jak wspomniano we wprowadzeniu, to produkty naturalnego pochodzenia z pogranicza dwóch grup. Pierwsza z nich to standardowe produkty spożywcze, stosowane w codziennej diecie, których główną funkcją jest dostarczenie niezbędnych do prawidłowego wzrostu, rozwoju i funkcjonowania składników odżywczych. Druga z kolei dotyczy produktów/środków farmaceutycznych, które dzięki swoim właściwościom przynoszą określone korzyści zdrowotne. Nutraceutyki stanowią więc

¹² Raport WHO: *The top 10 causes...*; Raport Eurostat, *op. cit.*

¹³ Raport: *Global, regional, and national age-sex-specific mortality for 282 causes of death in 195 countries and territories, 1980–2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017*, [https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736\(18\)32203-7/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(18)32203-7/fulltext) [dostęp 28.04.202]; Raport: *Causes of Death 2020*, <https://ourworldindata.org/causes-of-death>, [dostęp 28.04.2020]; A. Timmis, *European Society of Cardiology: Cardiovascular Disease Statistics 2019 (Executive Summary)*, „European Heart Journal – Quality of Care and Clinical Outcomes” 2020, s. 7–9.

¹⁴ Raport: *European Cardiovascular...*

¹⁵ Raport: *Global, regional, and national...*

¹⁶ Raport: *IDF: Global Diabetes Data Report 2010–2045*, <https://diabetesatlas.org/data/en/world/> [dostęp 5.05.2020].

produkty wykazujące się cechami odpowiednimi dla obu tych grup, mające dostarczyć cennych związków zawartych w pożywieniu, przy czym warunkiem koniecznym jest wywieranie przez nie udokumentowanego pozytywnego wpływu na zdrowie ludzkie oraz działania leczniczego i prewencyjnego w stosunku do wielu chorób¹⁷. W literaturze nutraceutyki znane są także jako związki aktywne pozyskane z pożywienia bądź też czasami utożsamia się je z suplementami diety. W zależności od kraju kwestie nazewnictwa oraz prawne dotyczące nutraceutyków mogą się nieznacznie różnić i podlegać różnym regulacjom wydawanym przez odpowiednie organizacje (ds. żywności i żywienia, dietetyki, produktów leczniczych itd.)¹⁸.

Najczęściej związki o charakterze bioaktywnym, do których zalicza się np. terpeny, polifenole czy wielonienasycone kwasy tłuszczowe (WNKT)¹⁹, pozyskiwane są ze źródeł zwierzęcych bądź roślinnych w procesach ekstrakcyjnych, które umożliwiają ich wydobycie bez uszkodzenia struktury oraz zachowanie ich właściwości²⁰. Typowe nutraceutyki do obrotu na rynku wprowadzone są głównie pod postacią tabletek, kapsułek czy innych formułacji, w których zawarta jest odpowiednia dawka danego związku, często przewyższająca ilość, którą pacjent mógłby dostarczyć, spożywając porcję produktu spożywczego. Nutraceutyki cechują się także dobrą biodostępnością i nie wywołują negatywnych skutków przy ich długotrwałym stosowaniu²¹.

Oprócz nutraceutyków coraz częściej występującym pojęciem jest również żywność funkcjonalna. Od opisanej powyżej grupy przede wszystkim odróżnia ją forma – przyjęto, że ma być ona podobna do standardowych posiłków i produktów przeznaczonych bezpośrednio do spożycia (bądź wcale się nie różnić), a więc może występować jako np. napój, a nie tabletki. Wymagania stawiane żywności funkcjonalnej i nutraceutykom są jednak podobne – ich spożywanie ma przynosić pozytywny efekt zdrowotny²². Pojęcie żywności funkcjonalnej obejmuje kilka głównych podgrup, wśród których wyróżnia się żywność w żaden sposób niemodyfikowaną; żywność, która została wzbogacona w składniki aktywnie czynne lub ich biodostępność została zwiększona; również taką, którą pozbawiono składników, takich jak gluten, laktoza lub też znacząco ograniczono

¹⁷ A. Santini, G.C. Tenore, E. Novellino, *Nutraceuticals: A paradigm of proactive medicine*, „European Journal of Pharmaceutical Sciences” 2017, nr 96, s. 53–61.

¹⁸ P.A. Spagnuolo (red.), *Nutraceuticals and Human Health: The Food-to-supplement Paradigm*, „Royal Society of Chemistry” 2020, s. 1–5.

¹⁹ S.A. Adefegha, *Functional Foods and Nutraceuticals as Dietary Intervention in Chronic Diseases; Novel Perspectives for Health Promotion and Disease Prevention*, „Journal of Dietary Supplements” 2018, nr 15, s. 977–1009.

²⁰ L. Corzo i in., *op. cit.*

²¹ P.A. Spagnuolo (red.), *op. cit.*

²² S.A. Adefegha, *op. cit.*; L. Corzo i in., *op. cit.*

zawartość np. cukrów czy tłuszczu²³. Warto zauważyć, że żywność funkcjonalna to także po prostu żywność, która wchodzi w skład codziennej diety, a bogata jest w wartościowe biologicznie związki. Jako przykład można wymieć tu np. zieloną herbatę, produkty mleczne, owoce czy warzywa²⁴. Za ich działanie prozdrowotne odpowiadają zawarte w nich substancje aktywne, czyli składniki żywności funkcjonalnej. Granica między tymi składnikami a typowymi nutraceutykami jest cienka i często w literaturze przedmiotu te dwa określenia używane są zamiennie²⁵.

Oprócz oczywistych zalet wynikających z regularnego stosowania produktów o charakterze żywności funkcjonalnej, należy także wspomnieć o tym, że ich stosowanie pozwala „wyprzedzić”, być może, konieczne później przyjmowanie leków. W wielu przypadkach chorobowych profilaktyka ma kluczowe znaczenie, a świadoma i przemysłowa dieta może stanowić konkretne narzędzie pozwalające uniknąć leczenia, często dodatkowo obciążającego organizm²⁶.

4. Właściwości astaksantyny

Astaksantyna (3,3'-dihydroksy- β , β -karoten-4,4'-dion) to karotenoid rozpuszczalny w tłuszczach, należący do grupy tetraterpenów, posiadający w swojej strukturze wiele sprzężonych wiązań podwójnych. Występuje w dwóch formach: *cis* i *trans* oraz tworzy trzy stereoisomery: 3R,3'R, 3R,3'S, 3S,3'S występujące w różnych proporcjach w zależności od źródła pochodzenia. Obecne w cząsteczce 4 keto- i 3 hydroksygrupy powodują, że potencjał przeciwutleniający astaksantyny znacząco przewyższa wartości charakterystyczne np. dla koenzymu Q-10 czy witaminy C lub E, co czyni ją niezwykle konkurencyjną pośród standardowo stosowanych antyoksydantów²⁷. Astaksantyna jest składnikiem biologicznie czynnym o szerokim spektrum zastosowań, a w ostatnim czasie cieszy się coraz większą popularnością. Na poniższym schemacie przedstawiono strukturę astaksantyny.

²³ M. Butnariu, I. Sarac, *Functional Food*, „International Journal of Nutrition” 2019, nr 3, s. 1–7; *Functional Foods*, European Commission 2010, http://www.eurosfair.prd.fr/7pc/documents/1276590504_functional_foods_en_publication.pdf [dostęp 5.05.2020].

²⁴ V. Rani, U.C.S. Yadav (red.), *Functional Food and Human Health*, Springer 2018, s. 1–3, 375–406.

²⁵ K. Gul, A.K. Singh, R. Jabeen, *Nutraceuticals and Functional Foods: The Foods for the Future World*, „Critical Reviews in Food Science and Nutrition” 2016, nr 56, s. 2617–2627; L. Corzo i in., *op. cit.*

²⁶ A. Santini i in., *op. cit.*

²⁷ S. Fakhri, I.Y. Aneva, M.H. Farzaei, *The Neuroprotective Effects of Astaxanthin: Therapeutic Targets and Clinical Perspective*, „Molecules” 2019, nr 24, s. 1–19.

4.2. Mechanizm działania

Niezwykłe właściwości prozdrowotne, jakimi cechuje się astaksantyna i których dotyczy kolejny rozdział, opierają się przede wszystkim na jej nieporównywalnie wysokiej aktywności przeciwutleniającej. Antyoksydanty to związki mające zdolność neutralizacji tzw. wolnych rodników i reaktywnych form tlenu (RFT, ang. *Reactive Oxygen Species*, ROS), występujących w organizmie człowieka i powstających w trakcie przemian metabolicznych³⁰. Nadmiar RFT przyczynia się do powstania stanu nazywanego stresem oksydacyjnym (ang. *Oxidative Stress*, OS), w którym równowaga między reakcjami rodnikowymi oraz przeciwutleniającymi jest zaburzona. Powoduje to bardzo groźne dla człowieka zachwianie metabolizmu komórkowego, które skutkuje zachodzeniem niekorzystnych reakcji chemicznych z udziałem reszt aminokwasowych bądź kwasów nukleinowych, prowadząc w konsekwencji do niszczenia komórek i uszkodzenia DNA. W wyniku długotrwałego stresu oksydacyjnego, oprócz przyspieszonego starzenia się komórek, organizm narażony jest na rozwój wielu chorób, do których zalicza się cukrzycę, nowotwory czy choroby układu krążenia³¹. Astaksantyna spowalnia powstawanie ROS oraz unieczynnia wolne rodniki, przerywając tym samym łańcuch reakcji rodnikowych, zapobiega także peroksydacji błon lipidowych³². Liczne badania naukowe wykazały ochronne działanie astaksantyny w stosunku do DNA oraz mitochondriów³³. Poza tym obecność astaksantyny wzmacnia ekspresję enzymów zaangażowanych w zwalczanie stresu oksydacyjnego, np. dysmutazy ponadtlenkowej czy peroksydazy glutationu³⁴. Dzięki swojej budowie astaksantyna może wnikać w głąb komórek, ma także zdolność do przenikania bariery krew–mózg³⁵. Niewątpliwą zaletą astaksantyny jako przeciwutleniacza jest także fakt, że w organizmie człowieka nie przekształca się ona do prooksydantów, które dodatkowo generują nadmierne ilości rodników³⁶.

³⁰ Raport: *Staying Sharp*: ...

³¹ H. Puzanowska-Tarasiewicz, L. Kuźmicka, M. Tarasiewicz, *Antyoksydanty a Reaktywne Formy Tlenu*, „Bromatologia i Chemia Toksykologiczna” 2010, nr 1, s. 9–14; B. Grimmig, S.H. Kim, K. Nash, P.C. Bickford, S.R. Douglas, *Neuroprotective mechanisms of astaxanthin: a potential therapeutic role in preserving cognitive function in age and neurodegeneration*, „GeroScience” 2017, nr 39, s. 19–32.; S. Kim, H. Kim, *Inhibitory Effect of Astaxanthin on Oxidative Stress-Induced Mitochondrial Dysfunction-A Mini-Review*, „Nutrients” 2018, nr 10, s. 1137.

³² Ch. Galasso, I. Orefice, P. Pellone, P. Cirino, R. Miele, A. Ianora, Ch. Brunet, C. Sansone, *On the Neuroprotective Role of Astaxanthin: New Perspectives?*, „Marine Drugs” 2018, nr 16, 247–257; S. Davinelli, M. E. Nielsen, G. Scapagnini, *Astaxanthin in Skin Health, Repair, and Disease: A Comprehensive Review*, „Nutrients” 2018, nr 12, s. 1–12.

³³ S. Kim, H. Kim, *op. cit.*; Raport: *Staying Sharp*...

³⁴ S. Davinelli, J.C. Bertoglio, A. Polimeni, G. Scapagnini, *Cytoprotective Polyphenols against Chronological Skin Aging and Cutaneous Photodamage*, „Current Pharmaceutical Design” 2018, nr 24, s. 99–105; Ch. Galasso i in., *op. cit.*

³⁵ Ch. Galasso i in., *op. cit.*; S. Fakhri, F. Abbaszadeh, L. Dargahi, M. Jorjani, *op. cit.*

³⁶ S. Davinelli, M. Nielsen, G. Scapagnini, *op. cit.*; Raport: *Staying Sharp*...

5. Astaksantyna jako składnik żywności funkcjonalnej

Astaksantyna pierwotnie obecna była w przemyśle jako dodatek do pasz, zarówno dla zwierząt morskich, takich jak łosoś, jak i znalazła szerokie zastosowanie w hodowlach drobiu³⁷. Ponadto, jest dostępna jako dodatek do żywności w postaci np. barwnika spożywczego i jest oznaczana jako E161j³⁸.

Ogromny potencjał prozdrowotny astaksantyny skłonił jednak biotechnologów i technologów żywienia do podejmowania badań dotyczących wpływu astaksantyny na zdrowie ludzi. Obecnie astaksantyna jest znana jako składnik żywności funkcjonalnej/nutraceutyk o udokumentowanym działaniu w profilaktyce i walce z wieloma chorobami.

Stres oksydacyjny, o którym wspomniano wyżej, oddziałuje na cały organizm człowieka. Astaksantyna pomaga znacząco wspierać prawidłowe funkcjonowanie układu odpornościowego, który jest szczególnie narażony na niekorzystne działanie OS. Wykazano pozytywny wpływ astaksantyny na wzmacnianie zarówno komórkowej, jak i humoralnej odpowiedzi odpornościowej³⁹. Stwierdzono także zwiększoną produkcję komórek NK – czyli tzw. naturalnych zabójców (ang. *Natural Killers*), odpowiedzialnych za sprawowanie nadzoru immunologicznego i pierwszą odpowiedź zainfekowanego organizmu⁴⁰. Komórki NK biorą z kolei aktywny udział w syntezie interferonu γ (IFN- γ), który jest jedną z najważniejszych cytokin prozapalnych – m.in. stymuluje on odpowiedź immunologiczną, np. przez aktywację makrofagów⁴¹. Suplementacja astaksantyny w okresach obniżonej odporności wydaje się niezwykle korzystna, ponieważ pozwala ona utrzymać w sprawności mechanizmy obronne organizmu, warunkujące jego stałe, szybkie i efektywne działanie.

³⁷ R.R. Ambati, P.S. Moi, S. Ravi, R.G. Aswathanarayana, *Astaxanthin: Sources, extraction, stability, biological activities and its commercial applications – A review*, „Marine Drugs” 2014, nr 12, s. 128–152; H.A. Elwan, S. Elnesr, Y. Abdallah, A. Hamdy, A.H. El-Bogdady, *Red yeast (*Phaffia rhodozyma*) as a source of Astaxanthin and its impacts on productive performance and physiological responses of poultry*, „World’s Poultry Science Journal” 2019, nr 75, s. 273–284.

³⁸ M. Rodríguez-Sáiz, J.L. De La Fuente, J.L. Barredo, *Xanthophyllomyces dendrorhous for the industrial production of astaxanthin*, „Applied Microbiology and Biotechnology” 2010, nr 88, s. 645–658.

³⁹ J. Park, J. Chyun, Y. Kim, L.L. Line, B.P. Chew, *Astaxanthin decreased oxidative stress and inflammation and enhanced immune response in humans*, „Nutrition & Metabolism” 2010, nr 7, s. 1–18; J. S. Park, B. Mathison, M. Hayek, S. Massimino, G. Reinhart, B.P. Chew, *Astaxanthin stimulates cell-mediated and humoral immune responses in cats*, „Veterinary Immunology and Immunopathology” 2011, nr 144, s. 455–461; S. Davinelli, M.E. Nielsen, G. Scapagnini, *op. cit.*

⁴⁰ S. Davinelli, M.E. Nielsen, G. Scapagnini, *op. cit.*; S. Fakhri, I.Y. Aneva, M.H. Farzaei, *op. cit.*; J.S. Park, B. Mathison, M. Hayek, S. Massimino, G. Reinhart, B.P. Chew, *op. cit.*

⁴¹ R. Paolini, G. Bernardini, R. Molfetta, A. Santoni, *NK cells and interferons*, „Cytokine and Growth Factor Reviews” 2014, nr 26, s. 113–120; C. Wu, Y. Xue, P. Wang, L. Lin, Q. Liu, N. Li, J. Xu, X. Cao, *IFN- γ Primes Macrophage Activation by Increasing Phosphatase and Tensin Homolog via Downregulation of miR-3473b*, „The Journal of Immunology” 2014, nr 193, s. 3036–3044.

Opierając się na licznych badaniach naukowych, stwierdzono, że astaksantyna wykazuje także silne działanie przeciwzapalne. Występowanie stanów zapalnych ma ścisły związek z układem odpornościowym, a dokładniej z odpowiedzią tego układu na szereg czynników wpływających negatywnie na organizm i działa jako mechanizm sygnalizujący, będący częścią odporności wrodzonej. Złożona odpowiedź ze strony układu odpornościowego przyczynia się do powstania stanu zapalnego, którego zadaniem jest rozpoczęcie procesu naprawy komórek, tkanek⁴². Jeśli jednak stan ten trwa zbyt długo i nie jest „wygaszany”, mówi się wówczas o przewlekłym zapaleniu, które z kolei może doprowadzić do wystąpienia poważnych chorób. Wykazano, że astaksantyna ogranicza aktywność genów odpowiedzialnych za syntezę biomarkerów prozapalnych, wśród których można wymienić np. interleukiny⁴³. Aktywność przeciwzapalna astaksantyny opiera się także na zdolności do blokowania aktywności enzymów, takich jak indukowalna syntaza tlenu azotu czy cyklooksigenaza-2⁴⁴, która stymuluje syntezę innych czynników prozapalnych (np. prostaglandyn)⁴⁵.

Choroby ośrodkowego układu nerwowego stanowią kolejny poważny problem, który dotyka miliony ludzi na całym świecie. Według danych statystycznych z depresją boryka się ok. 322 mln osób, a ostre stany depresyjne nierzadko są powodem samobójstw (nawet 800 000 osób rocznie)⁴⁶. Jak wspomniano wcześniej, dzięki swojej budowie astaksantyna może przenikać przez barierę krew–mózg. Liczne badania dowiodły, że istotnie wpływa ona na nastrój i samopoczucie⁴⁷ oraz przynosi efekty antydepresyjne, a jej działanie w tym zakresie obejmuje hamowanie stanów zapalnych, wysoką aktywność antyoksydacyjną i związaną z nią ochronę neuronów⁴⁸. Neuroprotektoryjne właściwości

⁴² S. Fakhri, F. Abbaszadeh, L. Dargahi, M. Jorjani, *op. cit.*

⁴³ S. Davinelli, M.E. Nielsen, G. Scapagnini, *op. cit.*

⁴⁴ S.K. Choi, Y. Park, D. Choi, H. Chang, *Effects of Astaxanthin on the Production of NO and the Expression of COX-2 and iNOS in LPS-Stimulated BV2 Microglial Cells*, „Journal of Microbiology and Biotechnology” 2009, nr 18, s. 1990–1996; S.L. Lee, *Astaxanthin inhibits nitric oxide production and inflammatory gene expression by suppressing IκB kinase-dependent NF-κB activation*, „Molecules and Cells” 2003, nr 16, s. 97–105; S. Fakhri, F. Abbaszadeh, L. Dargahi, M. Jorjani, *op. cit.*; S. Davinelli, M.E. Nielsen, G. Scapagnini, *op. cit.*; J.H. Park, I. Yeo, J. Han, J. Suh, H. Lee, J. Hong, *Anti-inflammatory effect of astaxanthin in phthalic anhydride-induced atopic dermatitis animal model*, „Experimental Dermatology” 2018, nr 27, s. 378–385.

⁴⁵ S. Davinelli, M.E. Nielsen, G. Scapagnini, *op. cit.*

⁴⁶ Raport: WHO, *Depression and other common mental disorders: Global Health estimates – Geneva* 2017, <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/254610/WHO-MSDMER2017.2eng.pdf;jsessionid=E2DE1BFADD969D25DDBA2672A1C073CA?sequence=1> [dostęp 5.05.2020]; Raport: WHO, *Depression*, <https://who.int/news-room/fact-sheets/detail/depression> [dostęp 6.05.2020].

⁴⁷ S. Talbott, D. Hantla, B. Capelli, L. Ding, Y. Li, Ch. Artaria, *Astaxanthin Supplementation Reduces Depression and Fatigue in Healthy Subjects*, „EC Nutrition” 2019, nr 14, s. 239–246.

⁴⁸ X.Y. Zhou, *Depression can be prevented by astaxanthin through inhibition of hippocampal inflammation in diabetic mice*, „Brain Research” 2017, nr 1657, s. 262–268; S. Fakhri, I.Y. Aneva, M.H. Farzaei, *op. cit.*; J. Wang, Y. Zhao, *Astaxanthin in Disease Prevention and Treatment*, [w:] *Advances in Biological Sciences Research*, „Atlantis Press” 2017, nr 4, s. 1–5.

astaksantyny są również szczególnie ważne przy powszechnych chorobach neurodegeneracyjnych, takich jak choroba Alzheimera czy Parkinsona⁴⁹.

Astaksantyna odgrywa niebagatelną rolę w leczeniu oraz profilaktyce chorób układu krążenia (CVD, ang. *Cardiovascular disease*), o których wspomniano już w rozdziale dotyczącym chorób dietozależnych. Jej działanie przeciwzapalne oraz antyoksydacyjne pozytywnie wpływa na serce i układ krążenia, a poza tym wykazano realny udział astaksantyny w metabolizmie lipidów, poprzez obniżanie poziomu „złego” (LDL, ang. *low density lipoprotein*) oraz podwyższaniu „dobrego” (HDL, ang. *high density lipoprotein*) cholesterolu. Astaksantyna zwiększa także poziom adiponektyny we krwi, wykazując przy tym dodatkowe działanie przeciwzapalne, ale także i przeciwmiażdżycowe⁵⁰. Ponadto, badania naukowe świadczą także o jej potencjalnym wpływie na regulację ciśnienia krwi⁵¹.

Produkty zawierające astaksantynę są szczególnie polecane diabetykom. Problemy cukrzyków związane są z pierwotnie występującą hiperglikemią, a towarzyszący stres oksydacyjny, który w tym wypadku niszczy w szczególności komórki β trzustki – odpowiedzialne za produkcję insuliny⁵² – prowadzi do zaburzeń metabolicznych charakterystycznych dla cukrzycy typu 2. Astaksantyna bierze więc udział w ochronie komórek β trzustki przed OS, zapobiegając tym samym następstwom ich dysfunkcji⁵³. Badania naukowe potwierdziły także zdolność astaksantyny do regulacji poziomu glukozy we krwi oraz zwiększenia poziomu adiponektyn, które odgrywają ważną rolę w metabolizmie glukozy i kwasów tłuszczowych, a także zwiększają wrażliwość insulinową⁵⁴.

Z bardzo silną aktywnością antyoksydacyjną astaksantyny wiążą się także ogromne możliwości walki z chorobami nowotworowymi. Jak wspomniano w rozdziale 4.2, w wyniku przemian metabolicznych dochodzi do powstawania wolnych rodników i RFT, które reagują z białkami, lipidami oraz DNA, stopniowo je niszcząc. Proces nowotworzenia jest

⁴⁹ Ch. Galasso i in., *op. cit.*; S. Fakhri, F. Abbaszadeh, L. Dargahi, M. Jorjani, *op. cit.*; S. Fakhri, I.Y. Aneva, M.H. Farzaei, *op. cit.*

⁵⁰ S.J. Hewlings, *Human Health Benefits of Astaxanthin Derived from Haematococcus pluvialis: A Review*, „*EC Nutrition*” 2019, nr 14, s. 902–916; Y. Kishimoto, H. Yoshida, K. Kondo, *Potential Anti-Atherosclerotic Properties of Astaxanthin*, „*Marine Drugs*” 2016, nr 14, s. 35; H. Yoshida, *Administration of Natural Astaxanthin Increases Serum Hdl-Cholesterol and Adiponectin in Subjects with Mild Hyperlipidemia*, „*Atherosclerosis*” 2010, s. 520–523.

⁵¹ Y. Kishimoto, H. Yoshida, K. Kondo, *op. cit.*

⁵² S. Bhuvaneshwari, B. Yagalakshmi, S. Sreeja, C.V. Anuradha, *Astaxanthin reduces hepatic endoplasmic reticulum stress and nuclear factor- κ B-mediated inflammation in high fructose and high fat diet-fed mice*, „*Cell Stress and Chaperones*” 2014, nr 19, s. 183–191; S. Fakhri, F. Abbaszadeh, L. Dargahi, M. Jorjani, *op. cit.*; K. Uchiyama, Y. Naito, G. Hasegawa, N. Nakamura, J. Takahashi, T. Joshikawa, *Astaxanthin protects β -cells against glucose toxicity in diabetic db/db mice*, „*Redox Report*” 2002, nr 7, s. 290–293.

⁵³ K. Uchiyama i in., *op. cit.*

⁵⁴ N.S. Mashhadi, *Astaxanthin improves glucose metabolism and reduces blood pressure in patients with type 2 diabetes mellitus*, „*Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*” 2018, nr 27, 341–346; S.J. Hewlings, *op. cit.*

niezwykle skomplikowany, a sprzyjające mu czynniki obejmują także starzenie się komórek, nadmierny stres oksydacyjny i przewlekłe zapalenia, którym astaksantyna może skutecznie przeciwdziałać. Jeśli już jednak dojdzie do tworzenia się komórek nowotworowych, astaksantyna może indukować apoptozę przez regulację ekspresji białek anti- i proapoptycznych⁵⁵. Astaksantyna wykazuje także działanie antyproliferacyjne, a ponadto dane literaturowe wskazują na jej potencjał do wzmacniania efektów chemioterapii⁵⁶.

Wszystkie omówione powyżej aspekty niewątpliwie wskazują na to, że astaksantyna i jej ogromny potencjał prozdrowotny wpisują się w wymagania stawiane nutraceutykom oraz składnikom żywności funkcjonalnej. Tak szerokie spektrum zastosowań astaksantyny w tak istotnych dla zdrowia i życia aspektach wskazuje na ciągłą konieczność prowadzenia dalszych badań, a także na, być może, większe zainteresowanie astaksantyną w kwestii jej suplementacji. Obecnie na rynku astaksantyna jest dostępna głównie pod postacią tabletek i kapsułek. Do ich produkcji wykorzystuje się głównie astaksantynę pochodzenia algowego (np. Astareal®), jednak coraz większa uwaga skierowana jest w stronę astaksantyny otrzymywanej z drożdży *Phaffia rhodozyma* (por. w 4.1), a na rynku pojawiają się nowe produkty zawierające astaksantynę drożdżową (np. AstaFerm™)⁵⁷. Rosnące zainteresowanie astaksantyną jest widoczne także na giełdach światowych, gdzie wartość rynku astaksantyny w 2018 r. wyniosła 600 mln USD, natomiast według statystyk przewiduje się, że w roku 2026 wzrośnie aż do 800 mln USD⁵⁸.

6. Podsumowanie

Wszechobecny stres, pośpiech oraz niedbałe odżywianie się stanowią normę w XXI w. Niestety, w parze z nimi idą także groźne schorzenia, wśród których należy wymienić choroby serca oraz układu krążenia czy cukrzycę. Profilaktyka tychże chorób staje się priorytetem na całym świecie, jako że należą one do grupy 10 najczęstszych przyczyn

⁵⁵ J. Li, *Astaxanthin Inhibits Proliferation and Induces Apoptosis of Human Hepatocellular Carcinoma Cells via Inhibition of Nf-Kb P65 and Wnt/B-Catenin in Vitro*, „Marine Drugs” 2015, nr 13, s. 6064–6081.

⁵⁶ I. Faraone, C. Sinisgalli, A. Ostuni, M.F. Armentano, M. Carmosino, M. Luigi, D. Russo, F. Labanca, H. Khan, *Astaxanthin anticancer effects are mediated through multiple molecular mechanisms: a systematic review*, „Pharmacological Research” 2020, s. 1–42; R.R. Ambati i in., *op. cit.*

⁵⁷ S. Krawiec, *NextFerm and Soft Gel technologies collaborate launch new astaxanthin ingredient*, Nutritional outlook 2020, <https://www.nutritionaloutlook.com/trends-business/nextferm-and-soft-gel-technologies-collaborate-launch-new-astaxanthin-ingredient> [dostęp 7.05.2020].

⁵⁸ Raport: *Astaxanthin Market Size by Source (Synthetic, Natural), By Application (Dietary Supplement, Personal Care, Pharmaceuticals, Food & Beverages, Animal Feed {Aquaculture, Livestock, Pets}) Industry Outlook Report, Regional Analysis, Application Potential, Price Trends, Competitive Market Share & Forecast, 2019–2026*, Global Market Insights, <https://www.gminsights.com/industry-analysis/astaxanthin-market> [dostęp 7.05.2020].

zgonów. W związku z tym naukowcy nieustannie poszukują związków aktywnych – szczególnie pochodzenia naturalnego – mogących przynieść wymierne efekty, a nawet zminimalizować ryzyko zachorowania. Nieodzownym elementem życia jest żywienie, które istotnie wpływa na zdrowie człowieka. Z tego względu to właśnie w produktach żywieniowych upatruje się ogromnego potencjału zdrowotnego, za sprawą zawartych w nich cennych związków. Na szczególną uwagę zasługują nutraceutyki oraz szeroko rozumiana żywność funkcjonalna – łączą one w sobie cechy produktów spożywczych i farmaceutycznych. Niezwykle cennym składnikiem żywności funkcjonalnej jest astaksantyna – karotenoid nazywany obecnie jednym z najsilniejszych antyoksydantów. To właśnie na nieporównywalnie silnej aktywności przeciwutleniającej astaksantyny opiera się szereg jej zastosowań w wielu gałęziach przemysłu, wśród których najważniejsze stają się te związane z utrzymaniem dobrej kondycji ciała i zdrowia, zarówno fizycznego, jak i psychicznego. Liczne badania naukowe dowodzą działania przeciwzapalnego, przeciwstarzeniowego, przeciwnowotworowego, a także wskazują na ogromną rolę w profilaktyce i walce z chorobami neurodegeneracyjnymi oraz układu krążenia i cukrzycą. Niezwykle szerokie spektrum zastosowań astaksantyny stanowi o jej ogromnym potencjale, a prace nad jej dalszym wykorzystaniem w ochronie zdrowia człowieka nadal trwają.

Bibliografia

Literatura

- Adefegha, S.A., *Functional Foods and Nutraceuticals as Dietary Intervention in Chronic Diseases; Novel Perspectives for Health Promotion and Disease Prevention*, „Journal of Dietary Supplements” 2018, nr 15.
- Ahuja K., Rawat A., *Astaxanthin Market Size by Source (Synthetic, Natural), By Application (Dietary Supplement, Personal Care, Pharmaceuticals, Food & Beverages, Animal Feed {Aquaculture, Livestock, Pets}) Industry Outlook Report, Regional Analysis, Application Potential, Price Trends, Competitive Market Share & Forecast, 2019–2026*, „Global Market Insights” 2019.
- Ambati R.R., Phang S.M., Sarada R., Ravishankar G.A., *Astaxanthin: Sources, extraction, stability, biological activities and its commercial applications – A review*, „Marine Drugs” 2014, nr 12.
- Bhatt P.C., Makhmur A., Bibhu P.P., *Enhanced bioaccumulation of astaxanthin in *Phaffia rhodozyma* by utilising low-cost agro products as fermentation substrate*, „Biocatalysis and Agricultural Biotechnology” 2013, nr 2.
- Bhuvanewari S., Baskaran Y., S.S., Carani V.A., *Astaxanthin reduces hepatic endoplasmic reticulum stress and nuclear factor- κ B-mediated inflammation in high fructose and high fat diet-fed mice*, „Cell Stress and Chaperones” 2014, nr 19.
- Butnariu M., Ioan S., *Functional Food*, „International Journal of Nutrition” 2019, nr 3.

- Choi S.K., Park Y., Choi D., Chang H., *Effects of Astaxanthin on the Production of NO and the Expression of COX-2 and iNOS in LPS-Stimulated BV2 Microglial Cells*, „Journal of Microbiology and Biotechnology” 2009, nr 18.
- Chudzik R., Jarosz K., Gołębiowska M., Gołębiowska B., *Stres chorobą XXI wieku?*, „Journal of Education, Health and Sport” 2017, nr 7.
- Corzo L., Fernández-Novoa L., Carrera I., Martínez O., Rodríguez S., Alejo R., Cacabelos, R., *Nutrition, Health, and Disease: Role of Selected Marine and Vegetal Nutraceuticals*, „Nutrients” 2020, nr 12.
- Davinelli S., Bertoglio J.C., Polimeni A., Scapagnini G., *Cytoprotective Polyphenols against Chronological Skin Aging and Cutaneous Photodamage*, „Current Pharmaceutical Design” 2018, nr 24.
- Davinelli S., Nielsen M.E., Scapagnini G., *Astaxanthin in Skin Health, Repair, and Disease: A Comprehensive Review*, „Nutrients” 2018, nr 10.
- Dutta S., Ali K.M., Dash S.K., Giri B., *Role of nutraceuticals on health promotion and disease prevention: a review*, „Journal of Drug Delivery and Therapeutics” 2018, nr 8.
- Elwan H.A.M., Elnesr S.S., Abdallah Y., Hamdy A., El-Bogdady A.H., *Red yeast (Phaffia rhodozyma) as a source of Astaxanthin and its impacts on productive performance and physiological responses of poultry*, „World’s Poultry Science Journal” 2019, nr 75.
- Fakhri S., Abbaszadeh F., Dargahi L., Jorjani M., *Astaxanthin: A Mechanistic Review on its Biological Activities and Health benefits*, „Pharmacological Research” 2018.
- Fakhri S., Aneva I.Y., Farzaei M.H., *The Neuroprotective Effects of Astaxanthin: Therapeutic Targets and Clinical Perspective*, „Molecules” 2019, nr 24.
- Faraone I., Sinisgalli Ch., Ostuni A., Armentano M.F., Carosino M., Luigi M., *Astaxanthin anticancer effects are mediated through multiple molecular mechanisms: a systematic review*, „Pharmacological Research” 2020.
- Galasso Ch., Orefice I., Pellone P., Cirino P., Miele R., Ianora A., Brunet Ch., Sansone C., *On the Neuroprotective Role of Astaxanthin: New Perspectives?*, „Marine Drugs” 2018, nr 16.
- Grimmig B., Kim S.H., Nash K., Bickford P.C., Shytle R.D., *Neuroprotective mechanisms of astaxanthin: a potential therapeutic role in preserving cognitive function in age and neurodegeneration*, „GeroScience” 2017, nr 39.
- Gul K., Singh A.K., Jabeen R., *Nutraceuticals and Functional Foods: The Foods for the Future World*, „Critical Reviews in Food Science and Nutrition” 2016, nr 56.
- Hewlings S.J., *Human Health Benefits of Astaxanthin Derived from Haematococcus pluvialis: A Review*, „EC Nutrition” 2019, nr 14.
- Kim S., Kim H., *Inhibitory Effect of Astaxanthin on Oxidative Stress-Induced Mitochondrial Dysfunction-A Mini-Review*, „Nutrients” 2018, nr 10.
- Kishimoto Y., Yoshida H., Kondo K., *Potential Anti-Atherosclerotic Properties of Astaxanthin*, „Marine Drugs” 2016, nr 14.
- Kolarzyk E., Wójtowicz B., *Żywność nowej generacji*, Kraków 2015.
- Lee S.J., *Astaxanthin inhibits nitric oxide production and inflammatory gene expression by suppressing IκB kinase-dependent NF-κB activation*, „Molecules and Cells” 2003, nr 16.
- Li J., *Astaxanthin Inhibits Proliferation and Induces Apoptosis of Human Hepatocellular Carcinoma Cells via Inhibition of Nf-Kb P65 and Wnt/B-Catenin in Vitro*, „Marine Drugs” 2015, nr 13.

- Makala H., *Żywność funkcjonalna i jej znaczenie na współczesnym rynku*, „Przemysł Spożywczy” 2018, nr 1.
- Mashhadi N.S., *Astaxanthin improves glucose metabolism and reduces blood pressure in patients with type 2 diabetes mellitus*, „Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition” 2018, nr 27.
- Nguyen K., *Astaxanthin: a comparative case of synthetic vs. natural production*, „Chemical and Biomolecular Engineering Publications and Other Works” 2013, nr 1.
- Paolini R., Bernardini G., Molfetta R., Santoni A., *NK cells and interferons*, „Cytokine and Growth Factor Reviews” 2014, 26.
- Park J., Chyun J., Kim Y., Line L., Chew B.P., *Astaxanthin decreased oxidative stress and inflammation and enhanced immune response in humans*, „Nutrition & Metabolism” 2010, 7.
- Park J.S., Mathison B.D., Hayek M.G., Massimino S., Reinhart G.A., Chew P., *Astaxanthin stimulates cell-mediated and humoral immune responses in cats*, „Veterinary Immunology and Immunopathology” 2011, nr 144.
- Park J.H., Yeo I., Han J., Suh J., Lee H., Hong J., *Anti-inflammatory effect of astaxanthin in phthalic anhydride-induced atopic dermatitis animal model*, „Experimental Dermatology” 2018, nr 27.
- Puzanowska-Tarasiewicz H., Kuźmicka L., Tarasiewicz M., *Antyoksydanty a Reaktywne Formy Tlenu*, „Bromatologia i Chemia Toksykologiczna” 2010, nr 1.
- Rani V., Yadav U.C.S. (red.), *Functional Food and Human Health*, Springer, 2018.
- Rodríguez-Sáiz M., De La Fuente J.L., Barredo J., *Xanthophyllomyces dendrorhous for the industrial production of astaxanthin*, „Applied Microbiology and Biotechnology” 2010, nr 88.
- Santini A., Tenore G.C., Novellino E., *Nutraceuticals: A paradigm of proactive medicine*, „European Journal of Pharmaceutical Sciences” 2017, nr 96.
- Spagnuolo P.A. (red.), *Nutraceuticals and Human Health: The Food-to-supplement Paradigm*, „Royal Society of Chemistry” 2020.
- Talbott S., Don H., Capelli B., Ding L., Li Y., Artaria Ch., *Astaxanthin Supplementation Reduces Depression and Fatigue in Healthy Subjects*, „EC Nutrition” 2019, nr 14.
- Timmis A., *European Society of Cardiology: Cardiovascular Disease Statistics 2019 (Executive Summary)*, „European Heart Journal – Quality of Care and Clinical Outcomes” 2020.
- Uchiyama K., Naito Y., Hasegawa G., Nakamura N., Takahashi J., Yoshikawa T., *Astaxanthin protects β -cells against glucose toxicity in diabetic db/db mice*, „Redox Report” 2002, nr 7.
- Wang J., Zhao Y., *Astaxanthin in Disease Prevention and Treatment*, [w:] *Advances in Biological Sciences Research, 2nd International Conference on Biomedical and Biological Engineering 2017*, „Atlantis Press” 2017.
- Wu C., Xue Y., Wang P., Lin L., Liu Q., Li N., Xu J., Cao X., *IFN- γ Primes Macrophage Activation by Increasing Phosphatase and Tensin Homolog via Downregulation of miR-3473b*, „The Journal of Immunology” 2014, nr 193.
- Yoshida H., *Administration of Natural Astaxanthin Increases Serum Hdl-Cholesterol and Adiponectin in Subjects with Mild Hyperlipidemia*, „Atherosclerosis” 2010, nr 209.
- Zhou X.Y., *Depression can be prevented by astaxanthin through inhibition of hippocampal inflammation in diabetic mice*, „Brain Research” 2017, vol. 1657.

Internet

- Krawiec S., *Next Ferm and Soft Gel technologies collaborate launch new astaxanthin ingredient*, „Nutritional outlook”, 2020, <https://www.nutritionaloutlook.com/trends-business/nextferm-and-soft-gel-technologies-collaborate-launch-new-astaxanthin-ingredient> [dostęp 7.05.2020].
- Mirosz P., *Żywność specjalnego przeznaczenia medycznego – kryteria kwalifikacji na podstawie przepisów unijnych*, 2018, <https://ncez.pl/informacje-dla-producentow-zywnosci/informacje-ogolne/zywnosc-specjalnego-przeznaczenia-medycznego---kryteria-kwalifikacji-na-podstawie-przepisow-unijnych> [dostęp 29.04.2020].
- Raport *Causes of Death*, 2020, <https://ourworldindata.org/causes-of-death> [dostęp 28.04.2020].
- Raport *European Cardiovascular Disease Statistics 2017 edition*, 2017, <http://www.ehnheart.org/images/CVD-statistics-report-August-2017.pdf> [dostęp 5.05.2020].
- Raport European Commission, *Functional Foods*, 2010, http://www.eurosfair.pr.fr/7pc/documents/1276590504_functional_foods_en_publi_ce.pdf [dostęp 5.05.2020].
- Raport Eurostat, *CardiovascularDiseasesStatistics – Death from CardiovascularDiseases*, 2019, https://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php?title=Cardiovascular_diseases_statistics#Deaths_from_cardiovascular_diseases [dostęp 28.04.2020].
- Raport *Global, regional, and national age-sex-specific mortality for 282 causes of death in 195 countries and territories, 1980–2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Stud*, 2018, [https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736\(18\)32203-7/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(18)32203-7/fulltext) [dostęp 28.04.2020].
- Raport IDF: *Global Diabetes Data Report 2010–2045*, 2019, <https://diabetesatlas.org/data/en/world> [dostęp 5.05.2020].
- Raport *Staying Sharp: Astaxanthin Supplementation & Cognitive Health*, https://www.eylif.is/wp-content/uploads/2019/11/Algalif_Whitepaper_Cognitive-Health_1117_web.pdf [dostęp 5.05.2020].
- Raport WHO, *Depression*, 2018, <https://who.int/news-room/fact-sheets/detail/depression> [dostęp 6.05.2020].
- Raport WHO, *Depression and other common mental disorders: Global Health estimates*, 2017, <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/254610/WHO-MSDMER2017.2eng.pdf;jsessionid=E2DE1BFADD969D25DDBA2672A1C073CA?sequence=1> [dostęp 5.05.2020].
- Raport WHO *Healthy diet*, 2018, <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet> [dostęp 28.04.2020].
- Raport WHO *The top 10 causes of death*, 2018, <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death> [dostęp 28.04.2020].

