

NATALIA SKIEPKO, IWONA CHWASTOWSKA-SIWIECKA,
JACEK KONDRATOWICZ

WŁAŚCIWOŚCI LIKOPENU I JEGO WYKORZYSTANIE DO PRODUKCJI ŻYWNOŚCI FUNKCJONALNEJ

Streszczenie

Celem pracy było omówienie aktualnego stanu wiedzy na temat źródeł i właściwości likopenu, a także określenie możliwości jego wykorzystania w przemyśle spożywczym oraz paszowym. Dla firm przemysłu spożywczego produkty wzbogacone w związki bioaktywne, np. likopen, stanowią szansę na zwiększenie ich wartości biologicznej i uzyskanie statusu żywności funkcjonalnej. W związku z tym producenci nieustannie poszukują nowych naturalnych związków o działaniu prozdrowotnym. Likopen w postaci czerwonego barwnika występuje w wielu owocach i warzywach, jednak jego naturalne źródło stanowią przede wszystkim owoce pomidora. Charakteryzuje się on silnymi właściwościami przeciwutleniającymi, zmniejsza ryzyko występowania nowotworów i chorób układu krążenia. Karotenoid ten wykorzystywany jest do produkcji wielu przetworów mięsnych, m.in. parówek, hamburgerów, mortadeli, pasztecików, kielbas fermentowanych, surowych wędlin. Oprócz bezpośredniego dodatku likopenu w procesie technologicznym, istnieje również możliwość zastosowania go w żywieniu zwierząt, co zwiększa nie tylko jakość otrzymywanego surowca (np. mięsa, jaj), ale wpływa również pozytywnie na efekty produkcyjne i funkcje przyżyciowe osobników.

Słowa kluczowe: likopen, działanie przeciwutleniające, właściwości przeciwnowotworowe, żywność funkcjonalna

Wprowadzenie

Obserwuje się wzrost zainteresowania konsumentów żywnością o dodatkowych właściwościach prozdrowotnych, zwanej żywnością funkcjonalną. Jakość takich artykułów spożywczych wynika z obecności w ich składzie substancji bioaktywnych.

Do takich substancji należą m.in. karotenoidy. Z ponad 700 znanych karotenoidów występujących w naturze, jedynie około 24 zostało zidentyfikowanych w ludz-

Mgr inż. N. Skiepmo, dr inż. I. Chwastowska-Siwiecka, prof. dr hab. J. Kondratowicz, Katedra Towaroznawstwa i Przetwórstwa Surowców Zwierzęcych, Wydz. Bioinżynierii Zwierząt, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, ul. Oczapowskiego 2, 10-719 Olsztyn. Kontakt: natalia.skiepmo@uwm.edu.pl

kim osoczu i tkankach, a tylko dwa w siatkówce oka [15, 55]. Wśród nich, oprócz dobrze poznanego β -karotenu, luteiny oraz zeaksantyny, na szczególną uwagę zasługuje likopen (ψ, ψ -karoten), którego organizm człowieka sam nie syntetyzuje i należy dostarczać go wraz z pożywieniem. Spożycie likopenu wśród populacji wielu regionów świata kształtuje się na różnym poziomie i zależy od dostępności surowców (głównie pomidorów) oraz produktów zawierających ten karotenoid. Największe spożycie pomidorów i ich przetworów występuje wśród ludności krajów, w których dominuje dieta śródziemnomorska, czyli w Grecji (163,6 g/dzień), południowej Hiszpanii (97,6 g/dzień) oraz w centralnych Włoszech (85,4 g/dzień). Natomiast najmniejsze spożycie charakteryzuje Holandię (15,7 g/dzień), Francję (22,0 g/dzień) oraz Szwecję (31,9 g/dzień), co wynika z uwarunkowań kulturowych w sposobie żywienia. Zróżnicowanie poziomów spożycia likopenu wynikać może także z odmiennych okresów prowadzonych doświadczeń, sposobów przygotowywania posiłków, warunków uprawy surowców będących źródłem tego karotenoidu, jak również z zastosowanego rodzaju obróbki technologicznej. Właściwości prozdrowotne likopenu zostały potwierdzone w badaniach klinicznych, chociaż mechanizmy działania tego związku nadal nie są do końca poznane [23, 59].

Celem pracy było omówienie aktualnego stanu wiedzy dotyczącego źródeł i właściwości likopenu, a także określenie możliwości jego wykorzystania w diecie człowieka oraz w żywieniu zwierząt.

Źródła pozyskiwania likopenu

Likopen występuje w wielu owocach i warzywach, jednak jego bogate źródło stanowią przede wszystkim pomidory (*Lycopersicon esculentum* Mill.), które przeznaczają się do bezpośredniego spożycia lub do przetworstwa [21]. Przetworstwo pomidorów generuje duże ilości produktów ubocznych (głównie nasion i skórek), które, z uwagi na ochronę środowiska, powinny zostać zutylicowane [7]. Jedną z możliwości utylizacji tych części pomidora jest pozyskiwanie z nich likopenu [39]. Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Zdrowia z dnia 22 kwietnia 2011 roku [44], w celu pozyskania likopenu z czerwonych pomidorów dopuszcza się stosowanie rozpuszczalników, takich jak: ditlenek węgla, octan etylu, aceton, propan-2-ol, metanol, etanol oraz heksan.

Nowe linie hodowlane pomidorów muszą spełniać rosnące oczekiwania konsumentów, dotyczące zarówno wyglądu, jak i wartości biologicznej. Szczególnie istotną cechą jakościową pomidorów jest ich odpowiednie wybarwienie, zależne od zawartości barwników, w tym również likopenu. Pigmenty występują w skórce i mięszu w zróżnicowanych ilościach, a ich połączenie tworzy całkowitą barwę owoców [6, 38]. Zawartość poszczególnych związków barwiących zmienia się w trakcie dojrzewania owoców, zależy od warunków uprawy oraz mikroklimatu, głównie temperatury i nasłonecznienia [21]. Według Clintona [10], zawartość likopenu w zależności od odmiany

oraz dojrzałości pomidorów wynosi $0,9 \div 4,2$ mg/100 g. Natomiast McClain i Baush [32] podają, że w intensywnie czerwonych pomidorach likopen może stanowić nawet 5 mg/100 g, a w żółtych – 0,5 mg/100 g. Toor i wsp. [58] stwierdzili, że wysoka temperatura negatywnie oddziałuje na formowanie się likopenu, ponieważ jego zawartość w pomiarach trzech badanych odmian była o 30% mniejsza w miesiącach letnich w porównaniu z zimowymi.

Jak podają Doménech-Asensi i wsp. [13], ψ,ψ -karoten w diecie człowieka aż w 80 % pochodzi z pomidorów i przetworów pomidorowych. Występuje on również jako barwnik w wielu innych warzywach i owocach, np. w arbuzach, papryce, grejpfrutach, truskawkach, papajach, owocach dzikiej róży itd. [32] (tab. 1). Najwięcej likopenu znajduje się jednak w produktach przetworzonych, zwłaszcza gotowanych, takich jak: ketchup, przecier, koncentrat pomidorowy, zupa, sos oraz sok, szczególnie otrzymany z soku zagęszczonego (tab. 2).

Tabela 1. Zawartość likopenu w wybranych owocach i warzywach

Table 1. Content of lycopene in selected fruits and vegetables

Wybrane owoce i warzywa Selected fruits and vegetables	Zawartość likopenu Content of lycopene [mg/100 g ś.m. / f.m.]
Pomidor świeży / Fresh tomato	0,72 ÷ 4,2
Arbuz / Watermelon	2,3 ÷ 7,2
Gujawa różowa / Pink guava	5,23 ÷ 5,50
Papaja / Papaya	0,11 ÷ 5,3
Grejpfrut różowy / Pink grapefruit	0,35 ÷ 3,36
Marchew / Carrot	0,65 ÷ 0,78
Puree z dzikiej róży/ Rosehip puree	0,68 ÷ 0,71
Dynia / Pumpkin	0,38 ÷ 0,46
Bataty / Sweet potato	0,02 ÷ 0,11
Morela / Apricot	0,01 ÷ 0,05

Źródło: / Source:

Opracowanie własne na podstawie [5, 52] / The authors' own study on the basis of [5, 52].

Dostępny w handlu likopen w postaci syntetycznej lub krystalicznej pozyskiwany jest ze specjalnych upraw pomidorów, wymagających wysokich nakładów finansowych, co skłoniło producentów do poszukiwania alternatywnych źródeł i odpowiednich technologii jego pozyskiwania [66]. Likopen syntetyczny stanowi mieszaninę geometrycznych izomerów likopenu (wiązania podwójne o konfiguracji *trans*) i otrzymywany jest metodą chemiczną poprzez kondensację syntetycznych produktów pośrednich, wykorzystywanych powszechnie do produkcji innych karotenoidów stosowanych w żywności. Występuje on w formie czerwonego, krystalicznego proszku,

który jest rozpuszczalny w tłuszczu i w większości rozpuszczalników organicznych, a nierozpuszczalny w wodzie. Odnacza się dużą wrażliwością na światło i tlen, ale jest bardziej trwały podczas chłodniczego przechowywania w atmosferze gazów obojętnych. Dostępne w handlu preparaty likopenu przeznaczone do stosowania w żywności mogą mieć postać zawiesin w olejach jadalnych albo proszku rozprowadzanego wodą lub rozpuszczalnego w wodzie. Ze względu na brak możliwości otrzymania likopenu krystalicznego w roztworze wodnym i jego dużą podatność na negatywne oddziaływanie światła oraz tlenu, nie nadaje się on do celów przemysłowych. Jedynie odpowiednio przekształcony materiał jest wprowadzany do obrotu i przeznaczony do spożycia [32, 44]. W 1968 roku opatentowano pierwszy preparat likopenu pochodzenia mikrobiologicznego, ekstrahowany z biomasy grzybów *Blakeslea trispora* oraz oczyszczony przez krystalizację i filtrowanie. Składa się on głównie z likopenu, którego wszystkie wiązania podwójne mają konfigurację *trans*, a także z niewielkich ilości innych karotenoidów. W procesie ekstrakcji dopuszcza się stosowanie jedynie dwóch rozpuszczalników: izopropanolu i octanu izobutyli [27, 44]. W dalszym ciągu podejmowane są próby wyprodukowania likopenu z udziałem bakterii *Mycobacterium aurum*, zaliczanych do mikroorganizmów niepatogennych. Kerr i wsp. [26] wykazali, że wydajność biosyntezy likopenu przez te drobnoustroje można zwiększyć, stosując warunki stresowe, takie jak niskie pH czy wysokie stężenie chlorku sodu.

Tabela 2. Zawartość likopenu w wybranych produktach pomidorowych

Table 2. Content of lycopene in selected tomato products

Rodzaj produktu Type of product	Zawartość likopenu Content of lycopene [mg/100 g ś.m. / f.m.]
Pomidor świeży / Fresh tomato	0,72 ÷ 4,2
Pomidor gotowany / Cooked tomato	3,7
Sok pomidorowy / Tomato juice	5,0 ÷ 11,6
Sos pomidorowy / Tomato sauce	6,2
Koncentrat pomidorowy / Tomato paste	5,4 ÷ 150,0
Zupa pomidorowa / Tomato soup	7,99
Proszek pomidorowy / Tomato powder	112,6 ÷ 265,0
Sos pomidorowy do pizzy / Tomato pizza sauce	12,7
Ketchup pomidorowy / Tomato ketchup	9,9 ÷ 13,4

Źródło: / Source:

Opracowanie własne na podstawie [5, 42] / The authors' own study on the basis of [5, 42].

Właściwości przeciwutleniające likopenu

Technolodzy żywności zwracają uwagę na możliwość wykorzystywania w przemyśle spożywczym przeciwutleniaczy naturalnych, co wynika głównie z braku zaufa-

nia konsumentów do związków syntetycznych. Dodatkowo przeciwutleniacze pochodzenia naturalnego nie są limitowane przez przepisy prawa oraz nie wymagają zgody na ich zastosowanie w produkcji artykułów spożywczych [53]. Do najważniejszych przeciwutleniaczy znajdujących się w warzywach i owocach zalicza się: witaminę C, karotenoidy (szczególnie likopen) oraz związki fenolowe. W organizmie człowieka karotenoidy zachowują taką samą reaktywność chemiczną, jak w roślinach, dzięki czemu wychwytyują wolne rodniki i aktywny tlen atomowy, zapobiegając stresowi oksydacyjnemu [55]. Wolne rodniki są to grupy atomów lub cząsteczki zawierające na ostatniej powłoce jeden lub więcej niesparowanych elektronów, co powoduje, że są one niestabilne i bardzo reaktywne [33]. W ustroju człowieka powstają podczas procesu oddychania, autooksydacji licznych związków, zwłaszcza lipidów, w wyniku licznych reakcji enzymatycznych, a także infekcji bakteryjnych lub wirusowych i związanych z tym procesów fagocytozy [41]. Ponadto są niebezpieczne dla organizmu, ponieważ powodują lawinowe powstawanie kolejnych rodników, które, dążąc do stabilnego układu elektronowego, reagują z różnymi komórkami i uszkadzają ich strukturę, a tym samym zakłócają funkcje, co w konsekwencji prowadzi do zmian w materiale genetycznym i wystąpienia stanów patologicznych. Jest to szczególnie niekorzystne dla osób ciężko pracujących fizycznie, uprawiających sport wyczynowy, będących w sytuacjach długotrwałego stresu bądź pod wpływem oddziaływania trucizn [35, 65]. Rodniki mogą powstawać w wyniku zanieczyszczenia środowiska, podczas wielu procesów chemicznych, wskutek reakcji tlenu z paliwem napędowym podczas pracy silników, w czasie tworzenia smogu, a nawet jako efekt działania promieni jonizujących lub nadfioletowych [41].

Likopen jest węglowodorem, składa się z 40 atomów węgla i ma budowę acykliczną (11 sprzężonych i 2 niesprężone wiązania podwójne). Wiele sprzężonych wiązań podwójnych powoduje, że wyróżnia się on wśród karotenoidów najsilniejszymi właściwościami przeciwutleniającymi i bierze udział w tworzeniu bariery przeciwutleniającej organizmu człowieka [4]. Jak podają Agarwal i Rao [1], likopen jest 2-krotnie lepszym przeciwutleniaczem niż β -karoten i 10-krotnie – niż α - tokoferol. Aktywność ψ, ψ -karotenu polega głównie na zapobieganiu utlenianiu frakcji LDL cholesterolu i obniżaniu ogólnego poziomu cholesterolu, co przyczynia się do zmniejszenia ryzyka wystąpienia chorób układu krążenia (CVD). Ponadto likopen wykazuje również działanie antymutagenne i przeciwnowotworowe [19, 34]. Wszystkie karotenoidy należą do związków polienowych i odznaczają się silnymi właściwościami przeciwutleniającymi *in vitro* i *in vivo*. Martin i wsp. [31] wykazali, że likopen *in vitro* w większym stopniu redukuje powstawanie miażdżycy u ludzi niż α -karoten, β -karoten, luteina i zeaksantyna. W badaniach *in vivo* na szczurach albinosach, El-Nashar i Abduljawad [14] stwierdzili większą możliwość wykorzystania pomidorów surowych do tłumienia i/lub odwracania stresu oksydacyjnego oraz innych parametrów miażdżycowych zwią-

zanych ze spożyciem diety wysokotłuszczowej, w stosunku do pasty pomidorowej i samego likopenu. Zarówno karotenoidy *in vitro*, jak i *in vivo* (likopen, luteina i β -karoten) wykazują właściwości ochronne wobec ludzkiego DNA. Wspierają naturalne systemy ochrony DNA przed niszczyielskim procesem utleniania [3].

Przeprowadzono wiele badań sprawdzających właściwości przeciwutleniające pojedynczych karotenoidów. Zdecydowanie mniej uwagi poświęcono jednak działaniu przeciwutleniającemu tych związków w mieszaninach syntetycznych i zbadaniu efektu synergicznego. Likopen, zarówno po dodaniu bezpośrednio do diety, jak i do wyizolowanego LDL, w połączeniu z innymi przeciwutleniaczami wykazuje silny synergizm w inhibitowaniu utleniania lipoprotein o niskiej gęstości. Fuhrman i wsp. [18] potwierdzili, że oleożywica z pomidorów powoduje bardzo silne inhibitowanie utleniania LDL przez jony miedzi. Autorzy odnotowali również duży synergizm po połączeniu likopenu z witaminą E, flawonoidami, innymi związkami fenolowymi, kwasem rozmarynowym i karnozolowym z rozmarynu lub z ekstraktu czosnku, zawierającego mieszaninę tych przeciwutleniaczy. Zanfini i wsp. [64] wykazali efekt synergiczny mieszanin dwuskładnikowych, które zawierały α -tokoferol z likopenem lub β -karotenem, a także w mieszaninach o kombinacji likopen- β -karoten, likopen-luteina i luteina- β -karoten. Nie stwierdzono natomiast różnic w działaniu synergistycznym, gdy te same związki połączone w mieszaninę czteroskładnikową.

Większość przeciwutleniaczy w bardzo dużych stężeniach wykazuje właściwości prooksydantów, co jest zjawiskiem wyjątkowo niekorzystnym. W związku z tym praktycznie dla wszystkich egzogennych przeciwutleniaczy można określić stężenie progoowe, przy którym dany związek staje się toksyczny. Poza tym różne związki przeciwutleniające działają z tak zwanym różnym potencjałem antyoksydacyjnym, skutecznym w jednym układzie, ale nie we wszystkich. Wiąże się to ze sposobem działania i możliwością neutralizacji danego rodzaju wolnego rodnika [20, 56].

Właściwości przeciwnowotworowe likopenu

W krajach rozwiniętych choroby nowotworowe stają się obecnie główną przyczyną przedwczesnych zgonów. Dlatego nadal poszukuje się metod profilaktycznego zapobiegania zachorowaniom ludności. Na podstawie badań epidemiologicznych, producenci artykułów spożywczych coraz częściej wykorzystują surowce pochodzenia roślinnego zawierające substancje przeciwdziałające powstawaniu nowotworów [27]. Do grupy tej zalicza się likopen, który wykazuje właściwości przeciwnowotworowe głównie ze względu na silne działanie przeciwutleniające. $\psi\psi$ -karoten zapobiega rozwojowi wielu nowotworów, ale przede wszystkim raka gruczołu krokowego, ponieważ w największym stopniu kumuluje się on w komórkach prostaty. Znajduje się tam około 80 % izomeru likopenu o konfiguracji *cis*, natomiast we krwi udział izomerów *cis* i *trans* rozkłada się po 50 % [24, 62]. Częstotliwość występowania nowotworu gruczo-

łu krokowego jest bardzo zróżnicowana w poszczególnych regionach geograficznych, ponieważ czynniki środowiskowe i żywieniowe mają istotny wpływ na większe ryzyko powstawania tej choroby. Z predyspozycjami genetycznymi było natomiast związane jedynie około 9 % przypadków zachorowań i dotyczyły one głównie młodych mężczyzn [60].

Chociaż poziom zachorowalności na raka żołądka zmniejszył się w większości krajów zachodnich, pozostaje on nadal drugą najczęstszą przyczyną zgonów spowodowanych nowotworami na całym świecie. Szacuje się, że co roku diagnozuje się ten rodzaj raka u około 1 mln pacjentów, co stanowi prawie 10 % wszystkich zgonów z powodu choroby nowotworowej (około 700 tys. osób rocznie) [22]. Raport opublikowany w 2007 roku przez Światowy Fundusz Badań nad Rakiem (WCRF) i Amerykański Instytut Badań nad Rakiem sugeruje, że spożycie niektórych rodzajów artykułów spożywczych może mieć bezpośredni związek z rozwojem nowotworów złośliwych, w tym raka żołądka [28]. Oprócz nieodpowiedniego sposobu odżywiania się, do najważniejszych czynników wpływających na rozwój tej choroby należą: palenie tytoniu oraz zakażenia wywołane przez *Helicobacter pylori* [54]. Mimo wysokiej wartości biologicznej karotenoidów analiza efektywności stosowania likopenu, pomidorów i produktów pomidorowych dostarcza wielu sprzecznych wyników. Najnowsze badania Yanga i wsp. [61] dowodzą jednak, że spożywanie tych produktów może zmniejszać ryzyko wystąpienia raka żołądka.

Istnieje coraz więcej dowodów na pozytywne działanie likopenu i produktów, w których on występuje, na zwalczanie występowania raka szyjki macicy, trzustki, pęcherza moczowego, piersi, przełyku, wątroby czy woreczka żółciowego [5, 28, 37, 43, 61]. W badaniach epidemiologicznych wskazuje się również na istotne zmniejszenie ryzyka nowotworu górnych dróg oddechowych [11]. Według Scolastic i wsp. [49], likopen z pomidorów pełni rolę chemoprewencyjną w czasie chemicznego uszkodzenia nici DNA pod wpływem nadtlenu wodoru, metylometasulfonianu i tlenu 4-nitrochinolinu. Salman i wsp. [47] stwierdzili, że zależnie od użytej dawki ψ,ψ -karotenu może nastąpić zmniejszenie proliferacji komórek białaczki erytroblastycznej, chronicznej białaczki limfoblastycznej i nowotworów jelita. Fornelli i wsp. [17] podają, że hamuje on wzrost komórek nowotworowych raka piersi u kobiet. W celu weryfikacji właściwości przeciwnowotworowych likopenu oraz potwierdzenia lub odrzucenia dotychczasowych danych naukowych, powinno się wykonywać dalsze badania epidemiologiczne.

Wykorzystanie likopenu w przemyśle spożywczym

Popyt na wyroby o właściwościach prozdrowotnych może być czynnikiem rozwoju artykułów żywnościowych wzbogaconych w likopen. Karotenoid ten dodawany jest m.in. do mięsa i jego przetworów, kandyzowanych owoców, napojów bezalkoho-

lowych, wyrobów cukierniczych, lodów, serów topionych, musztardy, past rybnych, a także chipsów ziemniaczanych. Przemysłowa ekstrakcja ψ,ψ -karotenu ma znaczenie nie tylko w przemyśle spożywczym, ale także w paszowym [52]. Likopen jest odporny na obróbkę termiczną, taką jak: gotowanie w wodzie i w parze, ogrzewanie mikrofalowe oraz duszenie. Jego straty w przypadku oddziaływania ciepła są mniejsze niż w przypadku światła oraz dostępu tlenu. Pod wpływem temperatury likopen zawarty w pomidorach ulega przekształceniu do postaci znacznie lepiej wchłanianej z przewodu pokarmowego człowieka, co wynika z intensywności otwarcia komórek. Likopen wbudowany w matrycę komórkową jest słabiej absorbowany niż występujący w stanie wolnym. Dzięki temu, że jest on rozpuszczalny w tłuszczach, można zwiększyć jego przyswajalność po dodaniu nawet niewielkiej ilości tłuszczu do potraw. W związku z tym przetwórstwo żywności może znacznie poprawiać biodostępność likopenu [9].

W opinii konsumentów, jednym z najważniejszych parametrów jakościowych mięsa i wyrobów mięsnych jest barwa. Niestety, produkty często odbarwiają się w początkowych etapach przechowywania, dlatego też producenci stosują azotan(III) sodu lub potasu. Związki te nie tylko poprawiają cechy sensoryczne, ale pełnią również rolę środka konserwującego, zapobiegają rozwojowi bakterii (np. *Clostridium botulinum*), a tym samym przedłużają trwałość przetworów. Mimo wielu zalet mogą być szkodliwe dla człowieka, dlatego powinno się je jak najczęściej zastępować dodatkami naturalnymi, np. likopenem lub produktami bogatymi w ten karoten [12]. Eyiler i Oztan [16] podają, że do wytwarzania parówek można stosować proszek pomidorowy jako środek barwiący na czerwono. Dodatkowo, do uzyskania intensywniejszej czerwieni można użyć kwasu askorbinowego. Wymienieni autorzy wykazali również, że obniżenie poziomu azotanów(III) w parówkach, przy jednoczesnym zachowaniu przedłużonego ich czasu przechowywania, możliwe jest po zastosowaniu odpowiedniej ilości naturalnych dodatków. Poziom azotanów(III) można zmniejszyć do 50 mg/kg w obecności 4 g/100 g proszku pomidorowego, jednak lepsze działanie przeciwutleniające i barwę stwierdzono przy 100 mg/kg azotanów(III) i 2 g/100 g proszku. Barwa jest bardzo ważnym parametrem jakościowym w produkcji mięsa mielonego i farszu używanego w przemyśle spożywczym oraz gospodarstwie domowym. Są to produkty podatne na szybki rozkład, rozwój mikroorganizmów, zmiany fizjologiczne oraz chemiczne, dlatego też często dochodzi do ich odbarwienia po krótkim okresie przechowywania [45]. Badania dowodzą, iż właściwości barwiące likopenu mogą być wykorzystywane również w produkcji niskotłuszczowych kielbas gotowanych [63], pasztecików [8, 48], hamburgerów [50], mortadeli [13], kielbas fermentowanych [7], surowych wędlin [33]. Według Doménech-Asensi i wsp. [13], wymienione badania wykazały, że ψ,ψ -karoten spowodował poprawę barwy wyrobów i ich właściwości odżywczych, spowolnienie procesów utleniania oraz zwiększenie stabilności podczas przechowywania, przy zachowaniu jednocześnie dobrej jakości produktów.

Oprócz bezpośredniego zastosowania likopenu w procesie technologicznym, istnieje również możliwość wykorzystania go jako dodatku w żywieniu zwierząt, co wpływa nie tylko na poprawę jakości otrzymanego surowca, ale również pozytywnie oddziałuje na efekty produkcyjne i funkcje przyżyciowe osobników. Badania z tego zakresu dotyczyły dotychczas głównie żywienia drobiu. Englmaierová i wsp. [15] odnotowali pozytywne oddziaływanie dodatku likopenu i witaminy E w paszy na przyrosty masy oraz jakość mięśni ud kurcząt brojlerów poprzez poprawę stabilności oksydacyjnej i zmniejszenie zawartości cholesterolu. Natomiast Ševčíkova i wsp. [51] wykazali korzystny wpływ kombinacji likopenu i selenu na redukcję dialdehydu malonowego (MDA) mięśni piersiowych po 5 dniach ich chłodniczego przechowywania. Botsoglou i wsp. [4] podają, że 5-procentowy dodatek pulpy z suszonych pomidorów w żywieniu przepiórek japońskich zapobiega utlenianiu lipidów mięsa przechowywanego w warunkach chłodniczych przez 6 lub 9 dób, a 10-procentowy dodatek wywiera efekt prooksydacyjny. Według Lira i wsp. [30], pasza z udziałem odpadów pomidorowych była lepiej pobierana przez kurczęta brojlery, ale przyrost masy ich ciała był niekorzystny. Najprawdopodobniej przyczynił się do tego zbyt duży udział witaminy E w mieszance paszowej. Sahin i wsp. [46] stwierdzili zwiększone spożycie paszy przez przepiórki japońskie utrzymywane w warunkach wysokiej temperatury. Ponadto wykazali wzrost stężenia frakcji HDL w osoczu ptaków i istotne zmniejszenie stężenia frakcji LDL. Tedesco i wsp. [57] przeanalizowali również efekt stosowania likopenu w żywieniu królików. Nie zaobserwowano negatywnego wpływu karotenu na spożycie i przyswajalność paszy, wskaźniki wydajności oraz masę ciała zwierząt. Peiretti i wsp. [40] potwierdzają możliwość stosowania 6-procentowego dodatku pasty pomidorowej w diecie królików bez negatywnych skutków na właściwości tuszki i jakość mięsa. Obserwowano nawet poprawę składu wyższych kwasów tłuszczowych.

Według Leeson i Castona [29] oraz Karadas i wsp. [25], od rodzaju oraz stężenia karotenoidów obecnych w paszy ptaków zależy jakość jaj, zwłaszcza barwa żółtka, która jest istotnym czynnikiem akceptacji produktu przez konsumentów. W opinii potencjalnych klientów jaja o ciemniejszym żółtku charakteryzują się wyższą wartością odżywczą i pochodzą one od kur utrzymywanych systemem ekstensywnym. W Niemczech i Hiszpanii ciemne żółtka preferuje ponad 60 % badanych, natomiast w Wielkiej Brytanii jedynie 33 %. Olson i wsp. [36] wykazali, że dodatek likopenu i witaminy E do mieszanki paszowej kur niosek nie wpłynął na stężenie innych karotenoidów zawartych w żółtku. Natomiast Sahin i wsp. [46] stwierdzili, że witamina E i likopen działają na jaja przepiórcze synergistycznie, czyli przeciwutleniacze mają silniejsze działanie razem niż każdy osobno. Zdaniem Akdemira i wsp. [2], proszek pomidorowy poprawia barwę żółtek i stabilność oksydacyjną jaj kur niosek.

Podsumowanie

Od kilku lat obserwuje się zdecydowany wzrost świadomości konsumentów, którzy oczekują artykułów spożywczych pozytywnie oddziałujących na ich organizm. Dlatego producenci poszukują nowych, naturalnych dodatków pochodzenia roślinnego do wytwarzania żywności funkcjonalnej. Liczne badania dowodzą, że karotenoidy zawarte w owocach i warzywach mają istotne znaczenie w profilaktyce i leczeniu wielu chorób. Najlepszym dowodem na to są właściwości likopenu, który zapobiega powstawaniu cukrzycy, nowotworów, a także chorób układu krążenia. Ponadto obniża on poziom tzw. „złego” cholesterolu (LDL) i przeciwdziała rozwojowi miażdżycy. ψ, ψ -karoten może być wykorzystywany w żywieniu zwierząt lub bezpośrednio w procesie technologicznym wyrobów gotowych. Jednak w celu produkcji żywności funkcjonalnej w skali przemysłowej, z wykorzystaniem tego karotenoidu, należy dokładniej poznać podłoże jego działania.

Literatura

- [1] Agarwal S., Rao V.A.: Tomato lycopene and its role in human health and chronic diseases. *Can. Med. Assoc. J.*, 2000, **163**, 739-744.
- [2] Akdemir F., Orhan C., Sahin N., Sahin K., Hayirli A.: Tomato powder in laying hen diets: effects on concentrations of yolk carotenoids and lipid peroxidation. *Br. Poult. Sci.*, 2012, **5 (53)**, 675-680.
- [3] Astley S.B., Elliott R.M., Archer D.B., Southon S.: Evidence that dietary supplementation with carotenoids and carotenoid-rich foods modulates the DNA damage: repair balance in human lymphocytes. *Br. J. Nutr.*, 2004, **91**, 63-72.
- [4] Botsoglou N., Papageorgiou G., Nikolakakis I., Florou-Paneri P., Giannenas I., Dotas V., Sinapis E.: Effect of dietary dried tomato pulp on oxidative stability of Japanese quail meat. *J. Agric. Food Chem.*, 2004, **52**, 2982-2988.
- [5] Bramley P.M.: Is lycopene beneficial to human health? *Phytochemistry*, 2000, **54**, 233-236.
- [6] Brandt S., Pek Z., Barna E., Lugasi A., Helyes L.: Lycopene content and colour of ripening tomatoes as affected by environmental conditions. *J. Sci. Food Agric.*, 2006, **86**, 568-572.
- [7] Calvo M.M., García M.L., Selgas M.D.: Dry fermented sausages enriched with lycopene from tomato peel. *Meat Sci.*, 2008, **80**, 167-172.
- [8] Candogan K.: The effect of tomato paste on some quality characteristics of beef patties during refrigerated storage. *Eur. Food Res. Technol.*, 2002, **215**, 305-309.
- [9] Chen J., Shi J., Xue S.J., Ma Y.: Comparison of lycopene stability in water- and oil-based food model systems under thermal- and light-irradiation treatments. *LWT- Food Science and Technology*, 2009, **42**, 740-747.
- [10] Clinton S.K.: Lycopene: chemistry, biology, and implications for human health and disease. *Nutr. Rev.*, 1998, **56**, 35-51.
- [11] De Stefani E., Oreggia F., Boffetta P., Deneo-Pellegrini H., Ronco A., Mendilaharsu M.: Tomatoes, tomato-rich foods, lycopene and cancer of the upper aerodigestive tract: a case-control in Uruguay. *Oral Oncol.*, 2000, **36**, 47-53.
- [12] Deda M.S., Bloukas J.G., Fista G.A.: Effect of tomato paste and nitrite level on processing and quality characteristics of frankfurters. *Meat Sci.*, 2007, **76**, 501-50.

- [13] Doménech-Asensi G., García-Alonso F.J., Martínez E., Santaella M., Martín-Pozuelo G., Bravo S., Periago M.J.: Effect of the addition of tomato paste on the nutritional and sensory properties of mortadella. *Meat Sci.*, 2013, **93**: 213-219.
- [14] El-Nashar N.N., Abduljawad S.H.: Impact effect of lycopene and tomato-based products network on cardio-protective biomarkers *in vivo*. *Funct. Food Health Dis.*, 2012, **2** (5), 151-165.
- [15] Englmaierová M., Bubancová I., Vít T., Skřivan M.: The effect of lycopene and vitamin E on growth performance, quality and oxidative stability of chicken leg meat. *Czech J. Anim. Sci.*, 2011, **12** (56), 536-543.
- [16] Eyiler E., Oztan A.: Production of frankfurters with tomato powder as a natural additive. *LWT - Food Sci. Technol.*, 2011, **44**, 307-311.
- [17] Fornelli F., Leone A., Verdesca I., Minervini F., Zacheo G.: The influence of lycopene on the proliferation of human breast cell line (MCF-7). *Toxicol. in Vitro*, 2007, **21**, 217-223.
- [18] Fuhrman B., Volkova N., Rosenblat M., Aviram M.: Lycopene synergistically inhibits LDL oxidation in combination with vitamin E, glabridin, rosmarinic acid, carnosic acid, or garlic. *Antioxid. Redox. Signal.*, 2000, **2**, 491-506.
- [19] Grajek W.: Rola przeciwutleniaczy w zmniejszeniu ryzyka wystąpienia nowotworów i chorób układu krążenia. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2004, **1** (38), 152-160.
- [20] Halliwell B., Aeschbach R., Loliger J., Aruoma O.I.: The characterization of antioxidants. *Food Chem. Toxicol.*, 1995, **33**, 601-617.
- [21] Jabłońska-Ryś E., Zalewska-Korona M.: Ocena barwy oraz zawartości barwników karotenoidowych w owocach pomidora nowych linii hodowlanych. *Bromat. Chem. Toksykol.*, 2009, **XLII**, **3**, 926-931.
- [22] Jemal A., Bray F., Center M.M., Ferlay J., Ward E., Forman D.: Global cancer statistics. *CA Cancer J. Clin.*, 2011, **61**, 69-90.
- [23] Jenab M., Ferrari P., Mazuir M., Tjonneland A., Clavel-Chapelon F., Linseisen J., Trichopoulou A., Tumino R., Bueno-de-Mesquita H., Lund E.: Variations in lycopene blood levels and tomato consumption across European countries based on the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition (EPIC). *Study. J. Nutr.*, 2005, **135**, 2032-2036.
- [24] Kaplan L.A., Lau J.M., Stein E.A.: Carotenoid composition, concentrations, and relationships in various human organs. *Clin. Physiol. Biochem.*, 1990, **8**, 1-10.
- [25] Karadas F., Grammenidis E., Surai P.F., Acamovic T., Sparks, N.H.C.: Effects of carotenoids from lucerne, marigold and tomato on egg yolk pigmentation and carotenoid composition. *Br. Poultry Sci.*, 2006, **47**, 561-566.
- [26] Kerr S., Cale C., Cabral J.M.S., van Keulen F.: Factors enhancing lycopene production by a new *Mycobacterium aurum* mutant. *Biotechnol. Lett.*, 2004, **26**, 103-108.
- [27] Kusznierevicz B., Piasek A., Lewandowska J., Śmiechowska A., Bartoszek A.: Właściwości przeciwnowotworowe kapusty białej. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2007, **6** (55), 20-34.
- [28] Larsson S. C., Orsini N., Wolk A.: Processed meat consumption and stomach cancer risk: a meta-analysis. *J. Natl. Cancer Inst.*, 2006, **98**, 1078-1087.
- [29] Leeson S., Caston L.: Enrichment of eggs with lutein. *Poultry Sci.*, 2004, **83**, 1709-1712.
- [30] Lira R.C., Rabello C.B.V., Ludke M.D.M., Ferreira P.V., Lana G.R.Q., Lana S.R.V.: Productive performance of broiler chickens fed tomato waste. *Rev. Bras. Zootec.*, 2010, **39**, 1074-1081.
- [31] Martin K.R., Wu D., Meydani M.: The effect of carotenoids on the expression of cell surface adhesion molecules and binding of monocytes to human aortic endothelial cells. *Atherosclerosis*, 2000, **150**, 265-274.
- [32] McClain R.M., Bausch J.: Summary of safety studies conducted with synthetic lycopene. *Regul. Toxicol. Pharmacol.*, 2003, **37**, 274-285.

- [33] Mercadante A.Z., Capitani C.D., Decker E.A., Castro I.A.: Effect of natural pigments on the oxidative stability of sausages stored under refrigeration. *Meat Sci.*, 2010, **84**, 718-726.
- [34] Niinkoski H., Vikari J., Palmu T.: Cholesterol-lowering effect and sensory properties of sitostanol ester margarine in normocholesterolemic adults. *Scand J. Nutr.*, 1997, **41**, 9-12.
- [35] Nowak K., Żmudzińska-Żurek B.: Pomidory – najlepsze źródło likopenu. *Przem. Spoż.*, 2009, **6**, 26-29.
- [36] Olson J.B., Ward N.E., Koutsos E.A.: Lycopene incorporation into egg yolk and effects laying hen immune function. *Poultry Sci.*, 2008, **87**, 2573-2580.
- [37] Omoni A.O., Aluko R.E.: The anti-carcinogenic and anti-atherogenic effects of lycopene: a review. *Trends Food Sci. Technol.*, 2005, **16**, 344-350.
- [38] Palozza P., Catalano A., Simone R., Cittadini A.: Lycopene as a guardian of redox signalling. *Acta Biochim. Pol.*, 2012, **1 (59)**, 21-25.
- [39] Papaioannou E.H., Karabelas A.J.: Lycopene recovery from tomato peel under mild conditions assisted by enzymatic pre-treatment and non-ionic surfactants. *Acta Biochim. Pol.*, 2012, **1 (59)**, 71-74.
- [40] Peiretti P.G., Gai F., Rotolo L., Brugiapaglia A., Gasco L.: Effects of tomato pomace supplementation on carcass characteristics and meat quality of fattening rabbits. *Meat Sci.*, 2013, **95**, 345-351.
- [41] Pokorny J., Yanishlieva N., Gordon M.: *Antioxidants in food*. Woodhead Publishing Limited Cambridge 2001.
- [42] Rao A.V., Agarwal S.: Role of lycopene as antioxidant carotenoid in the prevention of chronic diseases: A review. *Nutr. Res.*, 1999, **2 (19)**, 305-323.
- [43] Rao A.V., Agarwal S.: Role of antioxidant lycopene in cancer and heart disease. *J. Am. Coll. Nutr.*, 2000, **5 (19)**, 563-569.
- [44] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 22 kwietnia 2011 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie dozwolonych substancji dodatkowych. *Dz. U.* 2011 r. Nr 91, poz. 525.
- [45] R sterlie M., Lerfall J.: Lycopene from tomato products added minced meat: Effect on storage quality and colour. *Food Res. Int.*, 2005, **38**, 925-929.
- [46] Sahin K., Onderci M., Sahin N., Gursu M.F., Khachik F., Kucuk O.: Effects of lycopene supplementation on antioxidant status, oxidative stress, performance and carcass characteristics in heat-stressed Japanese quail. *J. Therm. Biol.*, 2006, **31**, 307-312.
- [47] Salman H., Bergman M., Djaldetti M., Besler H.: Lycopene affects proliferation and apoptosis of four malignant cell lines. *Biomed. Pharmacother.*, 2007, **61**, 366-369.
- [48] S nchez-Escalante A., Torrescano G., Djenane D., Beltran J.A., Roncales P.: Stabilisation of colour and odour of beef patties by using lycopene-rich tomato and peppers as a source of antioxidants. *J. Sci. Food Agric.*, 2003, **83**, 187-194.
- [49] Scolastici C., Alves De Lima R.O., Barbisan L.F., Ferreira A.L., Ribeiro D.A., Salvadori D.M.F.: Lycopene activity against chemically induced DNA damage in Chinese hamster ovary cells. *Toxicol. in Vitro*, 2007, **21**, 840-845.
- [50] Selgas M.D., Garcia M.L., Calvo M.M.: Effects of irradiation and storage on the physico-chemical and sensory properties of hamburgers enriched with lycopene. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 2009, **10 (44)**, 1983-1989.
- [51] Šev ikova S., Skřivan M., Dlouha G.: The effect of lycopene supplementation on lipid profile and meat quality of broiler chickens. *Czech J. Anim. Sci.*, 2008, **10 (53)**, 431-440.
- [52] Shi J., Le Maguer M.: Lycopene in tomatoes: Chemical and physical properties affected by food processing. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 2000, **1 (40)**, 1-42.
- [53] Sok l-L towska A., Oszmiański J.: Właściwości przeciwutleniające naturalnych polifenoli. *Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, Technologia Żywności XII*, 1998, **328**, 73-84.
- [54] Steevens J., Schouten L.J., Goldbohm R.A., van den Brandt P.A.: Alcohol consumption, cigarette smoking and risk of subtypes of oesophageal and gastric cancer: a prospective cohort study. *Gut*, 2010, **59**, 39-48.

- [55] Szterk A., Lewicki P.P.: Karotenoidy i ich funkcje biologiczne. *Przem. Spoż.*, 2007, **7**, 32-34.
- [56] Świdorski F., Waszkiewicz-Robak B.: Składniki bioaktywne w żywności funkcjonalnej. *Przem. Spoż.*, 2005, **4**, 20-22.
- [57] Tedesco D., Galletti S., Rossetti S., Morazzoni P.: Dietary tea catechins and lycopene: effects on meat lipid oxidation. In: Indicators of milk and beef quality. *EAAP Publ.*, 2005, **112**, 437-442.
- [58] Toor R.K., Savage G.P., Lister C.E.: Seasonal variation in the antioxidant composition of greenhouse tomatoes. *J. Food Comp. Anal.*, 2006, **19**, 1-10.
- [59] Wawrzyniak A., Hamułka J., Dąbek M.: Analiza czynników warunkujących spożycie likopenu w wybranej grupie młodzieży szkolnej. *Bromat. Chem. Toksykol.*, 2010, **XLIII**, **2**, 212-221.
- [60] Wertz K., Siler U., Goralczyk R.: Lycopene: modes of action to promote prostate health. *Arch. Biochem. Biophys.*, 2004, **430**, 127-134.
- [61] Yang T., Yang X., Wang X., Wang Y., Song Z.: The role of tomato products and lycopene in the prevention of gastric cancer: A meta-analysis of epidemiologic studies. *Med. Hypotheses*, 2013, **80**, 383-388.
- [62] Yeum K.-J., Booth S., Sadowski J., Lin C., Tang G., Krinsky N.I., Russell R.M.: Human plasma carotenoid response to the ingestion of controlled diets high in fruits and vegetables. *Am. J. Clin. Nutr.*, 1996, **64**, 594-602.
- [63] Yılmaz I., Simşek O., Işıklı M.: Fatty acid composition and quality characteristics of low-fat cooked sausages made with beef and chicken meat, tomato juice and sunflower oil. *Meat Sci.*, 2002, **62**, 253-258.
- [64] Zanfini A., Corbini G., La Rosa C., Dreassi E.: Antioxidant activity of tomato lipophilic extracts and interactions between carotenoids and α -tocopherol in synthetic mixtures. *LWT-Food Sci. Technol.*, 2010, **43**, 67-72.
- [65] Ziemiański Ś., Wartanowicz M.: Rola antyoksydantów żywieniowych w stanie zdrowia i choroby. *Pediatrica Współczesna. Gastroenterologia, Hepatologia i Żywnienie Dziecka*, 1999, **1** (2/3), 97-105.
- [66] Zuurro A., Fidaleo M., Lavecchia R.: Enzyme-assisted extraction of lycopene from tomato processing waste. *Enzyme Microbiol. Technol.*, 2011, **49**, 567-573.

PROPERTIES OF LYCOPENE AND UTILIZING IT TO PRODUCE FUNCTIONAL FOODS

S u m m a r y

The objective of the study was to discuss the current knowledge relating to the sources and properties of lycopene and to determine the possibilities of utilizing it in the food and animal feed industries. For food industry companies, the products enriched with bioactive compounds such as lycopene represent an opportunity to increase the biological value thereof and to acquire the status of functional food for them. Therefore, producers constantly seek new natural pro-health compounds. Lycopene in the form of red coloured pigment occurs in many fruits and vegetables; however, its natural source are, first and foremost, tomatoes. It is characterized by strong antioxidant properties and it reduces the risk of developing cancer and cardiovascular diseases. This carotenoid is utilized to manufacture many meat products, among other things: frankfurters, hamburgers, mortadella, patties, fermented sausages, and raw meat products. In addition to utilizing lycopene directly in a technological process, it is also possible to apply it to feed animals, and, in this way, to improve the quality of raw material (e.g. meat, eggs) being produced and to beneficially impact production effects and intravital functions of animals.

Key words: lycopene, antioxidant effect, anti-cancer properties, functional food ☒