

WŁODZIMIERZ GRAJEK

ZMIANY POTENCJAŁU PRZECIWUTLENIAJĄCEGO SUROWCÓW ROŚLINNYCH W PROCESACH PRZETWÓRCZYCH I W CZASIE TRAWIENIA

Streszczenie

Surowce roślinne stanowią bogate źródło naturalnych przeciwutleniaczy wykazujących aktywność biologiczną. Do surowców odznaczających się szczególnie dużym potencjałem przeciwutleniającym należą: zielona herbata, rośliny krzyżowe, nasiona soi, czosnek, cebula, pomidory i czerwone winogrona. Ilość przeciwutleniaczy podanych w diecie zależy od dwóch czynników: zachowania tych substancji w procesach przetwórczych oraz od wchłaniania w przewodzie pokarmowym. Szczególnie duże straty przeciwutleniaczy powoduje długotrwałe gotowanie. Znaczne ich ilości są także niszczone w procesie utleniania. Ma to miejsce głównie w czasie suszenia i głębokiego smażenia. Najmniejsze straty w zawartości przeciwutleniaczy powodują procesy mikrobiologiczne.

Słowa kluczowe: przeciwutleniacze, surowce roślinne, przetwórstwo żywności.

Wstęp

Ostatnio znacznie rośnie liczba publikacji naukowych poświęconych zmniejszeniu ryzyka chorób cywilizacyjnych poprzez podawanie aktywnych biologicznie składników pokarmowych. Jednymi z najbardziej aktywnych substancji ochronnych są naturalne przeciwutleniacze. Jest to duża grupa związków o zróżnicowanej budowie chemicznej i różnym pochodzeniu. Liczni badacze wskazują na aktywną rolę tych substancji w ograniczaniu procesów nowotworowych i w zapobieganiu chorobom układu krążenia. Wiele danych uzyskano w oparciu o studia epidemiologiczne obejmujące tysiące osób. Można stwierdzić, że związek między podawaniem przeciwutleniaczy a obniżeniem zapadalności na niektóre choroby jest statystycznie dobrze udowodniony. Nie ustają jednak wysiłki nad poznaniem szczegółowych zależności na poziomie molekularnym między substancjami wprowadzanymi do organizmu czło-

wieka z żywnością a stanem jego zdrowia. Badania te mają ogromne znaczenie dla producentów żywności i żywieniowców, gdyż budują podstawy do racjonalnego projektowania żywności funkcjonalnej o wysokiej jakości.

Występowanie przeciwutleniaczy w żywności

Głównym źródłem przeciwutleniaczy są rośliny. Steinmetz i Potter [12] zidentyfikowali kilkanaście klas biologicznie czynnych związków chemicznych występujących w materiałach roślinnych. W literaturze anglojęzycznej substancje te nazywa się potocznie „phytochemicals”.

Roślinami zawierającymi substancje aktywne są rośliny strączkowe, takie jak: soja, groch, zielony groszek i fasola. Wśród aktywności biologicznych soi wymienia się zapobieganie chorobom krążenia, nowotworom i osteoporozie oraz łagodzenie symptomów menopauzy. Najlepiej udokumentowanym efektem prozdrowotnym soi jest obniżanie poziomu cholesterolu we krwi. Anderson i wsp. [1], w oparciu o badania z udziałem 743 osób, wykazali, że spożywanie białek sojowych pozwala na obniżenie zawartości całkowitego cholesterolu w surowicy krwi o 9,3%, LDL o 12,9%, a triglicerydów o 10,5%. Wyraźne zmiany obserwowane są już przy dziennej dawce białek na poziomie 25 g. W ostatnich latach zwraca się coraz większą uwagę na izoflawony zawarte w nasionach soi i niektórzy autorzy właśnie tym substancjom przypisują udział w redukcji cholesterolu, chociaż opublikowano także prace zaprzeczające tej hipotezie. W 1998 r. Protein Technologies International wystąpiła do FDA o uznanie białek sojowych jako czynnika zmniejszającego ryzyko zachorowania na chorobę wieńcową. Określono, że minimalna dzienna dawka wywołująca efekty zdrowotne wynosi 6,25 g białka i powinna ona zawierać co najmniej 12,5 mg izoflawonów w przeliczeniu na aglikon. W soi wykryto także wiele substancji o działaniu przeciwnowotworowym. Należą do nich fitosterole, inhibitory proteaz, saponiny, izoflawony i kwas fitynowy. Do szczególnie aktywnych zalicza się genisteinę i daidzeinę, należące do izoflawonów. Związki te posiadają budowę heterocyklicznych fenoli o dużym podobieństwie do estrogennych steroidów, co powoduje, że mogą działać podobnie jak antyestrogeny, konkurują bowiem z silniejszymi od nich endogennymi estrogenami, np. 17 β -estradiolem, o receptory do wiązania estrogenów. Tym też tłumaczy się ich rolę w ochronie przed ryzykiem raka zależnego od estrogenów. Zjawisko to jest obserwowane w populacjach azjatyckich spożywających dużo soi.

Duże ilości polifenoli znajdują się w jabłkach. Są one źródłem flawonoidów, a szczególnie epikatechin, kwasów hydroksycynamonowych, glikozydów floretyny i kwercytyny oraz procyanidyn. Ocenia się, że w 1 kg jabłek jest zwykle 20–50 mg flawonoidów [7]. Większość polifenoli jest rozmieszczona w zewnętrznych częściach owoców. Biorąc pod uwagę dużą produkcję i spożycie jabłek w naszym kraju, należy je uznać za ważne źródło przeciwutleniaczy w warunkach polskiej diety.

Jednym z najważniejszych źródeł substancji aktywnych o działaniu przeciwnowotworowym są pomidory. Zawierają one ważne karotenoidy, w tym najbardziej aktywny likopen. Giovannucci i wsp. [5], w szerokich studiach obejmujących ponad 47 000 osób, spożywających co najmniej 10 razy tygodniowo pomidory, wykazali zmniejszenie ryzyka rozwoju zaawansowanego stadium raka prostaty. Gruczoł ten akumuluje wyjątkowo duże ilości likopenu. Substancja ta jest znana jako najsilniejszy „łapacz” singletowych rodników tlenowych w systemach biologicznych i dzięki temu uznawany jest za jeden z najaktywniejszych przeciwutleniaczy. Wysoka zawartość likopenu w surowicy krwi jest odwrotnie skorelowana z zapadalnością na raka piersi, przewodu pokarmowego, przełyku, skóry i języka. Ważnym źródłem karotenoidów jest także marchew. Korzenie tej rośliny są szczególnie bogate w β -karoten.

Źródłem polifenoli są zboża. W zewnętrznych okrywkach nasion zbóż znajdują się duże ilości flawonów, szczególnie apigeniny i jej glukozydów oraz flawonoli. Niestety, tradycyjne technologie przetwórstwa zbóż pozbawiają je w dużej mierze cennych składników przeciwutleniających.

Do znanych roślin o charakterze leczniczym należy czosnek, który zawiera wiele substancji biologicznie czynnych i stosowany jest od wieków w medycynie ludowej. Znany jest szeroko z działania przeciwnowotworowego, antybiotycznego, przeciwnadciśnieniowego i ze zdolności zmniejszania obciążenia organizmu cholesterolem. Jedną z głównych substancji aktywnych w czosnku jest aminokwas S-allylcysteina i allylina, która pod wpływem enzymu allylinoazy ulega konwersji do allylicyny, nadającej czosnkowi charakterystyczny zapach. Po zgnieceniu czosnku pod wpływem tlenu rozpada się ona na kilka niskocząsteczkowych związków o dużej aktywności biologicznej. Badania epidemiologiczne potwierdziły skuteczność czosnku w ograniczaniu ryzyka chorób nowotworowych [3]. Dzięki właściwościom obniżania ciśnienia krwi oraz redukcji zawartości cholesterolu czosnek jest uznawany za czynnik ograniczający choroby układu krążenia.

Do najbardziej aktywnych przeciwutleniająco należą rośliny krzyżowe. Wśród nich należy wymienić brokuły, kalafior, kapustę, w tym brukselkę. Wszystkie te warzywa są szeroko opisane jako zasobne w przeciwutleniacze. W zależności od gatunku mogą one ograniczać ryzyko nowotworów w zakresie od 29% do 70% [14]. Ich aktywność przeciwutleniająca jest wiązana z obecnością glukozyzolanów. Pod wpływem enzymu mirozynazy ulegają hydrolizie z utworzeniem różnorodnych produktów, włączając w to izotiocyjaniiny i indole.

Duże ilości przeciwutleniaczy zawiera herbata, szczególnie zielona. Liście tej rośliny zawierają znaczne ilości polifenoli, stanowiących nawet do 30% suchej masy świeżych liści. Najważniejszymi polifenolami w herbacie są katechiny, w tym (-)epigallokatechyno-3-galusan, (-)epigallokatechnina, (-)epikatechyno-3-galusan i (-)epikatechnina. Roślina ta zawiera także dużo flawonoidów: kwercetyny, kemferolu, myricety-

ny, apigeniny i luteoliny. Wiele danych wskazuje na antyrakowe i antymiażdżycowe działanie herbaty.

Bogatym źródłem przeciwutleniaczy są winogrona i wytwarzane z nich wina, szczególnie czerwone. Od dawna jest znany fakt małej podatności Francuzów na choroby układu krążenia. Fenomen ten wiąże się ze spożywaniem dużych ilości wina i jest opisywany jako tzw. paradoks francuski. Aktywną rolę przeciwutleniającą w winach odgrywają flawonoidy. Przechodzą one ze skórek i nasion winogron do roztworu w trakcie procesu fermentacji. Ogólne stężenie fenoli w winie może sięgać nawet 1–3 g/l. Polifenole zapobiegają miażdżycy poprzez ochronę cholesterolu frakcji LDL przed utlenieniem. Czerwone wina są także źródłem trans-resweratrolu, jednej z fitoaleksyn zgromadzonych w skórkach winogron.

Do roślin o dużym potencjale przeciwutleniającym należy burak ćwikłowy *Beta vulgaris*. Zawiera on duże ilości nietoksycznych barwników. Badania wykazały, że sok buraka ćwikłowego wykazuje właściwości cytotoksyczne w stosunku do komórek nowotworowych i może być induktorem apoptozy [2].

Przemiany i wchłanianie przeciwutleniaczy w przewodzie pokarmowym

Przeciwutleniacze wprowadzone do przewodu pokarmowego wraz z pokarmem spotykają się z aktywnymi wydzielinami fizjologicznymi, jak: kwas solny, enzymy, kwas żółciowy i sole żółciowe oraz z aktywną mikroflorą jelitową i jej metabolitami. Wszystkie te czynniki aktywnie działają na cząsteczki przeciwutleniaczy, powodując w nich określone modyfikacje. Do najbardziej znanych należy hydroliza glikozydów izoflawonów pod wpływem enzymów hydrolitycznych wytwarzanych przez drobnoustroje jelitowe z uwolnieniem aktywnego aglikonu. Niektóre z aktywnych aglikonów są absorbowane jako wolne izoflawony, inne przechodzą wtórny metabolizm i tworzone są nowe składniki. Bakterie mlekowe w obecności laktozy i fruktozy są zdolne do izomeryzacji kwasu linolenowego i tworzenia konjugatów tego kwasu [8]. Zmiany spowodowane procesami zachodzącymi w przewodzie pokarmowym mogą również zmniejszać aktywność przeciwutleniaczy. Przykładowo, flawonoidy, w tym kwercetyna, ulegają rozkładowi mikrobiologicznemu w jelitach z utworzeniem kwasu fenolowego i 3,4-dihydroksyfenylooctowego. Za rozkład flawonoidów odpowiedzialne są bakterie *Eubacterium ramulus* [10].

Kluczową rolę w biologicznej aktywności przeciwutleniaczy odgrywa jednak ich biodostępność. Pojęcie to jest różnorodnie definiowane, niemniej jego istotą jest określenie, jaka część wprowadzonych *per os* substancji aktywnych jest trawiona, wchłonięta i włączana do normalnych procesów metabolicznych. Zagadnienie to jest słabo rozpoznane i wymaga dużo większej uwagi. Dużo prac poświęcono transportowi karotenoidów do plazmy krwi. Kluczowym zagadnieniem związanym z biodostępnością karotenoidów jest ich rozpuszczalność w tłuszczach. Zasadniczy wpływ na to ma od-

powiednia obróbka technologiczna oraz przygotowanie kulinarne potrawy. Dochodzi wówczas do rozpuszczenia karotenoidów w fazie tłuszczowej, bądź w emulsjach wodno-tłuszczowych lub mieszanych micelach. W trakcie transferu przez przewód pokarmowy następuje hydroliza lipidów. Najlepiej wchłaniane są karotenoidy z frakcji micelowej, jednak brak jest pełnych danych na ten temat.

Transport karotenoidów przez rąbek szczoteczkowy enterocytów zachodzi łącznie z innymi substancjami lipidowymi. W nabłonku ma miejsce rozszczepienie retinolowych prekursorów karotenoidów przez 15,15'dioksygenazę. Wskutek tego retinal jest redukowany do retinolu i estryfikowany przez kwas palmitynowy. W badaniach nad transportem antyoksydantów przez ściany jelit wykorzystuje się modele tkankowe, np. linie komórkowe enterocytów Caco-2 [15].

Badania Southon [11] wykazały duże zróżnicowanie w spożyciu przeciwutleniaczy wśród populacji ludzi dorosłych w różnych krajach Europy. Przykładowo wysokie spożycie karotenoidów odnotowano u Francuzów, natomiast małe u Hiszpanów. Przyczyną tych różnic mogą być odmienne źródła karotenów w dietach tych społeczeństw (Francuzi – marchew, Hiszpanie – szpinak). Już sam ten fakt wskazuje na zasadniczy wpływ źródła przeciwutleniaczy na ich biodostępność w organizmach ludzi. Duże spożycie karotenoidów przez Francuzów znalazło odbicie w wysokim poziomie tych związków w surowicy krwi. Na podstawie analizy frakcji bogatej w triglicerydy wykazano, że istnieje zależność między wchłanianiem luteiny i β -karotenu. Duże spożycie karotenu ogranicza przyswajanie luteiny.

Zmiany przeciwutleniaczy w czasie obróbki technologicznej i przechowywania

Przeciwutleniacze zawarte w surowcach spożywczych ulegają podobnym zmianom w czasie obróbki technologicznej jak inne składniki [9]. Literatura poświęcona temu zagadnieniu jest dosyć zawężona w sensie tematycznym, gdyż opisuje się przede wszystkim straty poszczególnych przeciwutleniaczy w czasie procesów jednostkowych bez uwzględniania zmian w ich aktywności biologicznej. Wiele prac wykonano w eksperymentach modelowych, w których do produktu wprowadzano dodatek przeciwutleniaczy w formie czystej. Obróbka technologiczna polega często na stosowaniu drastycznych zabiegów. W tym kontekście należy wymienić procesy termiczne i hydrotermiczne, jak: pasteryzacja, sterylizacja, blanszowanie, zagęszczanie przez odparowanie, suszenie, ekstruzję i ogrzewanie mikrofalowe, a także obróbkę kulinarną, jak: gotowanie, pieczenie, duszenie i smażenie. Do ekstremalnych należy także zaliczyć nowe metody obróbki: paskalizację i obróbkę polem elektromagnetycznym. Zmiany w składnikach bioaktywnych mogą wywołać procesy mikrobiologiczne i enzymatyczne zachodzące w czasie fermentacji. Obok wysokiej temperatury i ciśnienia, o stabilności chemicznej składników decyduje także kontakt cząsteczek z tlenem i światłem. Duży wpływ na to ma sposób pakowania żywności i warunki jej przechowywania. Utrzyma-

nie wysokiej aktywności przeciwutleniającej omawianych związków jest problemem złożonym i trudnym do analizy.

Z punktu widzenia aktywności biologicznej przeciwutleniaczy najważniejsze są zmiany chemiczne zachodzące w czasie obróbki technologicznej. Mogą one mieć skutek pozytywny i powodować zwiększenie aktywności przeciwutleniaczy lub prowadzić do ich destrukcji. Do zmian korzystnych należy zaliczyć transformację cząsteczek przeciwutleniaczy w formę o większej aktywności. Dotyczy to np. przejścia formy glikozydowej w formę aglikonową. Inną korzystną zmianą może być tworzenie nowych związków chemicznych. Przykładem takich reakcji jest kondensacja aminokwasów i cukrów. Zasadniczą rolę odgrywa także ochrona produktów przed dostępem tlenu. Można go znacznie ograniczyć przez kapsułkowanie produktów zawierających przeciwutleniacze, powlekanie produktów filmami polimerowymi i pakowanie w atmosferze pozbawionej lub o zmniejszonej zawartości tlenu.

Z drugiej strony niektóre czynniki związane z obróbką technologiczną mogą spowodować niekorzystne zmiany. Wśród nich można wymienić utlenianie, tworzenie kompleksów z innymi składnikami żywności, straty spowodowane ułatwianiem się przeciwutleniaczy, modyfikacje enzymatyczne, zwiększony potencjał oksydacyjny środowiska i przejście formy aktywnej w formę pro-utleniacza. Szczególnie niebezpieczne są procesy utleniania. Mogą być one wywołane przez produkty utleniania tłuszczów, jak wolne rodniki lipidowe ROO* lub RO*, wodorotlenki lipidowe ROOH i lipidowe dioksydany. Sprawcą reakcji utleniania przeciwutleniaczy może być tlen singletowy lub tripletowy. W tym ostatnim przypadku fenole przechodzą w nieaktywne chinony.

W literaturze spotyka się doniesienia opisujące reakcje utleniania cząsteczek przeciwutleniaczy. Najbardziej znanym przykładem takich zmian jest utlenianie tokoferoli przez nadtlenek wodoru w obecności jonów żelaza(II) do tokoferonów i utworzenie dimerów z resztami nienasyconych kwasów tłuszczowych [16].

Przemiany związane z łagodną i szybką obróbką hydrotermiczną (<100°C) są na ogół korzystne. W wyniku ogrzania roztworu usuwany jest tlen, denaturowane enzymy z grupy oksydo-reduktaz, a heteroglikozydy są hydrolizowane do aglikonów. Stosowanie długotrwałego gotowania powoduje zwiększenie strat, gdyż duża część rozpuszczalnych w wodzie przeciwutleniaczy podlega ekstrakcji. Przy zagęszczaniu, w celu ograniczenia strat zalecane jest zagęszczanie próżniowe. Straty witamin rozpuszczalnych w wodzie są dobrym markerem zmniejszenia potencjału przeciwutleniającego danego produktu spożywczego.

Przy stosowaniu niższych temperatur, np. przy pasteryzacji, dochodzi do utleniania polifenoli przez enzym polifenolooksydazę. Stratom witamin w wyniku utleniania można zapobiegać przez usunięcie tlenu (deaeracja). Skutecznie inaktywuje enzymy

blanszowanie parą wodną, przez co straty spowodowane utlenianiem przeciwutleniaaczy są mniejsze.

Do drastycznych należy zaliczyć proces ekstruzji na gorąco. W temp. 120–160°C dochodzi do rozkładu takich witamin, jak C i A, a ich straty mogą sięgać nawet ponad 50% [6].

Generalnie należy jednak ocenić, że środowisko wody sprzyja szybkiemu transferowi ciepła do całej objętości produktu, co powoduje dłuższy kontakt z ciepłem i równomierne ogrzanie całej masy produktu. Wynikiem tego są duże straty wywołane rozkładem termicznym. Ogrzewanie gorącym powietrzem, mimo stosowania wyższej temperatury, jest mniej szkodliwe, gdyż wewnątrz suszonego produktu ma zwykle dużo niższą temperaturę niż jego warstwy powierzchniowe. Suszenie stwarza natomiast doskonałe warunki do utleniania lipidów. Obniżenie zawartości wody i odsłonięcie polimerów ułatwia dotarcie do nich cząsteczek tlenu. Wysokie stężenia rodników lipidowych powodują błyskawiczne utlenianie cząsteczek przeciwutleniaaczy i ich inaktywację. Procesy takie zachodzą także w procesach suszenia sublimacyjnego, mikrofalowego i w czasie długotrwałego przechowywania suchych produktów. Ogrzewanie mikrofalowe może dodatkowo wywołać odparowanie niektórych przeciwutleniaaczy.

Poważne zmiany przeciwutleniaaczy zachodzą także w czasie głębokiego smażenia. Duża ilość rozgrzanego oleju sprzyja szybkiej oksydacji, w wyniku której powstają rodniki tłuszczowe. Niszczą one wrażliwe substancje, jak tokoferole, które są tym szybciej rozkładane im więcej jest nienasyconych kwasów tłuszczowych. Zmniejszenie zawartości tokoferoli pociąga za sobą utlenianie wielu innych przeciwutleniaaczy, jak wit. A i C oraz katechin. W ten sposób szybko dochodzi do radykalnego obniżenia ogólnego potencjału przeciwutleniającego w produkcie.

Dotychczasowe badania wykazały, że dużo bardziej przyjazne zachowaniu przeciwutleniaaczy są procesy fermentacyjne. Przebiegają one w umiarkowanej temperaturze i przy ograniczonym dostępie tlenu, co powoduje, że proces utleniania lipidów jest bardzo wolny. Dzięki hydrolitycznemu działaniu enzymów dochodzi do zwiększenia aktywności przeciwutleniaaczy. Dotyczy to szczególnie substancji występujących w formie estrów lub glikozydów. Po rozkładzie tych związków dochodzi do uwolnienia formy kwasowej lub aglikonu. Przykładem takich przeciwutleniaaczy są kwercytna i myricetyna. Zwiększeniu aktywności antyoksydantów sprzyja także rozkład enzymatyczny białek. Uwolnione do środowiska aminokwasy wykazują działanie synergistyczne do przeciwutleniaaczy i stanowią dodatkową ochronę produktu. Z tej przyczyny hydrolizaty sojowe, albuminy jaja i kazeiny działają synergistycznie do tokoferolu [16]. Produkty hydrolizy składników nasion sojowych zwiększają potencjał przeciwutleniający przez modyfikacje prekursorów, co obserwowano w produktach fermentowanych typu tempeh. Należy także zwrócić uwagę na enzymy rozkładające nadtlenek wodoru i wiążące tlen w procesie utleniania cukrów do kwasów organicznych.

Szerokie studium nad zmianami związków fenolowych w zależności od typu obróbki i warunków przechowywania owoców i warzyw przedstawili Tomas-Barberan i Espin [13]. Autorzy ci wskazują na zasadniczą rolę enzymów z grupy oksydaz fenolowych i peroksydaz w rozkładzie fenoli w uszkodzonych owocach. Przechowywanie owoców w niskiej temperaturze wpływa w sposób zróżnicowany na zachowanie przeciwutleniaczy. W owocach czerwonych, zawierających antocyjany, ich ilość wzrasta. Zjawisko to zaobserwowano w truskawkach, jagodach, winogronach i granatach. W warunkach chłodniczych wiele owoców ulega brązowieniu [7].

W obecności etylenu, w niskich temperaturach, w niektórych warzywach, np. sałacie, obserwowane są niekorzystne zmiany jakościowe objawiające się brązowymi przebarwieniami brzegów liści. Powodem tego jest stymulacja przez etylen syntezy izoenzymów peroksydazy. Przechowywanie owoców w zamrażalnicach, w atmosferze ze zredukowaną atmosferą tlenu i zwiększonym udziałem CO₂, może być przyczyną zmniejszenia zawartości antocyjanów i powodować brązowienie owoców.

Skład chemiczny fenoli roślinnych może się znacznie zmienić pod wpływem obróbki technologicznej, obejmującej takie procesy, jak: ogrzewanie, gotowanie, blanszowanie, rozdrabnianie, zamrażanie, wyciskanie soku, fermentacja, suszenie, radiacja i inne zabiegi. Duży wpływ na zawartość fenoli ma także obróbka kulinarna. Przykładowo szpinak w czasie gotowania traci ponad 50% flawonoidów [4].

Badania nad przemianami przeciwutleniaczy w łańcuchu produkcji żywności i jej przygotowania do spożycia są daleko niewystarczające. Dotychczas najwięcej informacji dotyczy przemian witaminy C, tokoferoli i karotenoidów. Znacznie mniej wiadomo na temat polifenoli. Zakres prowadzonych badań jest wąski. Większość prac jest ukierunkowana na badanie procesów utleniania tłuszczów oraz na badania modelowe z udziałem czystych przeciwutleniaczy. Tymczasem konsumenci darzą coraz większym zaufaniem produkty bez dodatków chemicznych, a więc zawierające przeciwutleniacze naturalne. Zachowanie tych substancji w złożonym środowisku chemicznym, jakim jest żywność, wymaga pogłębionych badań nad interakcjami z innymi składnikami żywności oraz dokładnej analizy przemian oksydacyjnych i enzymatycznych, jakim te substancje podlegają. Ważną rolę odgrywa też zjawisko synergizmu w procesie ochrony produktu przed procesami utleniania. W ocenie ochronnego wpływu przeciwutleniaczy na obniżenie ryzyka chorób nowotworowych i układu krążenia fundamentalne znaczenie ma powiązanie zmian chemicznych z aktywnością biologiczną tych związków w organizmie człowieka. Poszerzenie wiedzy na ten temat powinno przyczynić się do doskonalenia procesów przetwórczych tak, aby uzyskać żywność o wysokiej jakości i odpowiedniej aktywności biologicznej.

Podsumowanie

Surowce roślinne są głównym źródłem biologicznie aktywnych przeciwutleniaaczy. Wiele warzyw i owoców odznacza się szczególnie dużą aktywnością przeciwutleniającą. Do takich roślin można zaliczyć pomidory i ich przetwory bogate w likopen, herbatę zieloną zawierającą polifenole oraz czosnek i cebulę z dużą zawartością aktywnych substancji organo-siarkowych. Duża część aktywnych przeciwutleniaaczy jest jednak niszczona w czasie obróbki technologicznej i długotrwałego przechowywania. Do najbardziej destrukcyjnych czynników należą procesy utleniania, ekspozycja na promienie świetlne, rozkład termiczny i procesy o charakterze ekstrakcyjnym. Drugim czynnikiem determinującym dostępność przeciwutleniaaczy w diecie jest efektywność procesu wchłaniania w przewodzie pokarmowym, gdzie poddane są one działaniu enzymów trawiennych, mikroorganizmów jelitowych i soli żółciowych oraz napotyka ją na bariery dyfuzyjne. Pogłębiona znajomość czynników wywołujących straty przeciwutleniaaczy jest niezbędna w projektowaniu nowych technologii wytwarzania żywności funkcjonalnej.

Literatura

- [1] Anderson J.W., Johnstone B.M., Cook-Newell M.E.: Meta-analysis of the effects of soy protein intake on serum lipids. *New Engl. J. Med.*, 1995, **333**, 276-282.
- [2] Bujanowska A.: Wstępne badania nad chemioprolaktycznymi właściwościami buraka czerwonego. Praca dyplomowa, Katedra Technologii Leków i Biochemii, Politechnika Gdańska, 2003.
- [3] Dorant E., van den Brandt P.A., Goldbohm R.A., Hermus R.J.J., Sturmans F.: Garlic and its significance for the prevention of cancer in humans: a critical review. *Br. J. Cancer*, 1993, **67**, 424-429.
- [4] Gil M.I., Ferreres F., Tomas-Barberan F.A.: Effect of postharvest storage and processing on the antioxidant constituents (flavonoids and vitamin C) of fresh-cut spinach. *J. Agric. Food Chem.*, 1999, **47**, 2213-2217.
- [5] Giovannucci E., Ascherio A., Rimm E.B., Stampfer M.J., Colditz G.A., Willett W.C.: Intake of carotenoids and retinal in relation to risk of prostate cancer. *J. Natl. Cancer Inst.*, 1995, **87**, 1767-1776.
- [6] Harper J.M.: Food extrusion. *CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 1979, **11**, 1550-215.
- [7] Kalt W., Forney Ch.F., Martin A., Prior R.L.: Antioxidant capacity, vitamin C, phenolics, and anthocyanins after fresh storage of small fruits. *J. Agric. Food Chem.*, 1999, **47**, 4638-4644.
- [8] Lin T.Y.: Conjugated linoleic acid concentration as affected by lactic cultures and additives. *Food Chem.*, 2000, **69**, 27-31.
- [9] Pokorny J., Schmidt S.: Natural antioxidant functionality during food processing. In: *Antioxidants in food. Practical applications*. Ed: Pokorny J., Yanishlieva N. and Gordon M., CRC Press Woodhead Publishing Ltd, Cambridge 2001, pp. 331-354.
- [10] Simmering R., Pforte H., Jacobasch G., Blaut M.: The growth of the flavonoid-degrading intestinal bacterium, *Eubacterium ramulus*, is stimulated by dietary flavonoids *in vivo*. *FEMS Microbiol. Ecol.*, 2002, **40**, 243-248.
- [11] Southon S.: Increased fruit and vegetable consumption within the EU: potential health benefits. *Food Res. Int.*, 2000, **33**, 211-217.

- [12] Steinmetz K.A., Potter J.D.: Vegetables, fruit and cancer. II. Mechanisms. *Cancer Causes Control*, 1991, **2**, 427-442.
- [13] Tomas-Barberan F.A., Espin J.C.: Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. *J. Sci. Food Agric.*, 2001, **81**, 853-876.
- [14] Verhoeven D.H.T., Verhagen H., Goldbohm R.A., van den Brandt P.A., Poppel van G.: A review of mechanisms underlying anticarcinogenicity by brassica vegetables. *Chem. Bio. Interactions*, 1997, **103**, 79-129.
- [15] Walgren R., Walle U.K., Walle T.: Transport of quercetin and its glucosides across human intestinal epithelial Caco-2 cells. *Biochem. Pharmacol.*, 1998, **55**, 1721-1727.
- [16] Yamauchi R., Yamamoto N., Kato K.: Iron-catalysed reaction products of alpha-tocopherol with methyl 13(S)-hydroperoxy-9(Z), 11(E)-octadecadienoate. *Lipids* 1995, **30**, 395-404.

CHANGES OF ANTIOXIDATIVE POTENTIAL OF PLANT MATERIALS DURING PROCESSING AND INTESTINE DIGESTION

S u m m a r y

Plant materials are the main source of natural antioxidants. Green tea, brassica vegetables, soy bean, garlic, onion and red grape are mentioned as the plants with the highest antioxidative potential. The total pool of antioxidants administered with diet depends on two factors: the maintenance of antioxidants during processing and their bioavailability in human digestive tract. Particularly high losses of antioxidants causes prolonged cooking in large quantity of water. Significant losses are also occurred due to oxidation during drying and deep-frying processes. Microbiological treatment is generally recognized as less destructive.

Key words: antioxidants, plant materials, food processing. ☒