

AGNIESZKA SZAJDEK, JULITTA BOROWSKA

WŁAŚCIWOŚCI PRZECIWUTLENIAJĄCE ŻYWNOŚCI POCHODZENIA ROŚLINNEGO

Streszczenie

W pracy omówiono właściwości przeciwutleniające żywności roślinnej. Podkreślono jej znaczenie w profilaktyce wielu chorób. Bliżej scharakteryzowano owoce, warzywa, nasiona oleiste, zboża, zioła, przyprawy i herbatę. Zwrócono też uwagę na wybrane produkty przetworzone wykazujące dużą pojemność przeciwutleniającą, jak: soki i napoje, wina, tłuszcze roślinne, produkty warzywne i zbożowe. Scharakteryzowano substancje bioaktywne o właściwościach przeciwutleniających obecne w żywności roślinnej, przede wszystkim polifenole, witaminę C, E i karotenoidy. Omówiono także mechanizm działania tych związków, wskazując jednocześnie na zależności między ich koncentracją i składem jakościowym a wielokierunkowym oddziaływaniem *in vitro* i *in vivo*. Podkreślono także aktualne trendy w produkcji żywności, ukierunkowane na zastępowanie przeciwutleniaczy syntetycznych – naturalnymi. Stwarza to duże możliwości wykorzystania surowców roślinnych jako ich źródła.

Słowa kluczowe: właściwości przeciwutleniające, żywność pochodzenia roślinnego, substancje bioaktywne.

Wprowadzenie

Żywność pochodzenia roślinnego jest bogatym źródłem substancji biologicznie aktywnych, zarówno odżywczych, jak i określanych mianem antyżywnościowych (BANS). Liczną grupę wśród tych związków stanowią substancje o działaniu przeciwutleniającym. W szerokim znaczeniu, przeciwutleniacze obejmują wszystkie rodzaje substancji hamujących reakcje z tlenem lub ozonem, względnie działających pośrednio poprzez wiązanie niektórych prooksydantów [3, 5, 66]. Do przeciwutleniaczy zalicza się zatem również substancje indukujące enzymy o charakterze przeciwutleniającym lub hamujące enzymy katalizujące procesy utleniania. Do rozpoznanych inhibitorów lipooksygenazy należą m.in.: aldehyd protokatechowy, 7,8-dihydroksy-4-kumaryna, izoflawony soi [66, 79]. Szczególnie podkreśla się

Mgr inż. A. Szajdek, prof. dr hab. J. Borowska, Katedra Przetwórstwa i Chemii Surowców Roślinnych, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Pl. Cieszyński 1, 10-957 Olsztyn, tel. (89) 523 45 21, e-mail: koros@uwm.edu.pl

zdolność naturalnie występujących związków przeciwutleniających do neutralizowania aktywności wolnych rodników.

W żywności wolne rodniki powstają w wyniku takich procesów, jak smażenie i wędzenie, a także podczas przechowywania. Procesy utleniania mają miejsce nie tylko w żywności, ale także w organizmie człowieka. Wolne rodniki mogą powstawać m.in. pod wpływem działania promieni ultrafioletowych, promieniowania jonizującego, ultradźwięków, przy wytwarzaniu mas plastycznych. Wzajemne oddziaływanie wolnych rodników z makrocząsteczkami komórkowymi, jak: kwasy nukleinowe, białka, lipidy i węglowodany, prowadzi do różnorodnych uszkodzeń: rozerwania nici DNA, mutacji punktowych, aberracji chromosomalnych i w końcu do śmierci komórki. W warunkach homeostazy organizmu te niezwykle reaktywne formy ulegają degradacji lub wchodzą w dalszy łańcuch przemian biochemicznych i ich działanie jest unieczynniane. Nadmiar wolnych rodników, które nie zostały zneutralizowane, działa niszcząco na struktury komórkowe i tkankowe. Zmiany w DNA mogą być sygnałem do rozpoczęcia patologicznej proliferacji komórek i indukować procesy kancerogenezy. Uważa się również, że wolne rodniki są początkiem rozwoju wielu chorób cywilizacyjnych, jak: miażdżyca, cukrzyca, zaćma, choroba Parkinsona, choroba Alzheimera. Wykazaną dotąd jedyną korzystną rolą wolnych rodników jest ich wykorzystanie przez komórki układu odpornościowego do niszczenia drobnoustrojów [31, 34, 52, 58].

Żywność pochodzenia roślinnego stanowi dla człowieka bogate źródło związków o właściwościach przeciwutleniających. Związki te reprezentowane są przede wszystkim przez: polifenole (kwasy fenolowe i obszerną grupę flawonoidów wraz z antocyjanami), witaminy - A, C i tokoferole, karotenoidy, ponadto kwasy organiczne, wapń, selen, chlorofiliny, glutation, indole, fityniany, tiocyjaniany, izomery kwasu linolowego. Właściwości przeciwutleniające wykazują także produkty przemian (np. brązowienia nieenzymatycznego) powstające w procesach technologicznych [24, 38, 40, 79].

Przeciwutleniacze w żywności – oddziaływanie na organizm

Żywność bogata w przeciwutleniacze odgrywa istotną rolę w profilaktyce wielu chorób. Na wzrost całkowitego reaktywnego potencjału przeciwutleniającego (CRPA) i ryzyka wystąpienia niektórych chorób mają wpływ wybrane składniki codziennej diety. Wymienić tu należy przykładowo świeże owoce i warzywa, soki owocowe, czerwone wino, zieloną herbatę [6, 17, 25, 36, 40].

Badania epidemiologiczne wskazują na zależność między stopniem zachorowalności na niedokrwienną chorobę serca a spożyciem żywności bogatej we flawonoidy. Wykazano, że najmniej flawonoidów w diecie (średnio ok. 5 mg/dzień) spożywają Finowie, najwięcej Japończycy (ok. 64 mg/dzień). Potwierdzeniem są badania prowadzone wśród ludności południowej Francji oraz Anglii i Walii. Wykazano, że 5-krotnie mniejsza śmiertelność z powodu chorób serca wśród ludności

południowej Francji niż Anglii przypisywana jest większemu spożywaniu warzyw i owoców bogatych we flawonoidy, a także czerwonego wina, zasobnego zwłaszcza w antocyjany. Uważa się, że działanie tych związków jest silniejsze niż innych przeciwutleniaczy obecnych w żywności (witamina C, E, karotenoidy) [55]. Wykazano m.in., że flawonoidy poprzez hamowanie aktywności fosfodiesterazy i cyklooksygenazy skuteczniej od aspiryny zmniejszają agregację płytek krwi od aspiryny, a tym samym zalecane są w profilaktyce miażdżycy. Uważa się także, że polifenole roślinne przeciwdziałają powstawaniu wrzodów żołądka i dwunastnicy wywołanych stresem, lekami i alkoholem [19, 66]. Żywieniowcy zalecają systematyczne spożycie polifenoli roślinnych w postaci surowych warzyw i owoców, w pięciu porcjach tych produktów w ciągu dnia, przy czym za 1 porcję uważa się co najmniej 80 g [45].

Do najlepiej poznanych witamin przeciwutleniających należą: witamina C, β -karoten (prowitamina A), witamina A (retinol) i witamina E. Wykazują one zdolność neutralizacji szkodliwego działania wolnych rodników i nadtlenków lipidowych. Badania prowadzone w wielu krajach wykazały, że najbardziej skuteczną aktywność prewencyjną w odniesieniu do choroby wieńcowej wykazuje α -tokoferol, a następnie kwas askorbinowy, retinol i β -tokoferol. Jakkolwiek witamina C charakteryzuje się mniejszą aktywnością przeciwutleniającą aniżeli taniny, katechiny czy antocyjany, to należy podkreślić jej wielokierunkowe oddziaływanie. Wykazuje m.in. zdolność destrukcji nadtlenków lipidów, prowadząc do terminacji procesu utlenienia, jest „zmiataczem” wolnych rodników powstających zarówno podczas przygotowywania żywności, jak i w wyniku metabolicznych procesów w organizmie. Niedobór witaminy C i E w diecie zwiększa podatność tkanek na działanie wolnych rodników, zarówno zewnątrzpo pochodnych, jak i tych, które powstają w ustroju w wyniku nasilonych procesów oksydacyjnych. Niedobór witaminy E prowadzi do zwiększenia agregacji płytek krwi i zmniejszenia wytwarzania prostacykliny, zwiększa podatność do powstawania zakrzepów naczyniowych i zawałów. W przypadku witaminy C wykazano jej dodatni wpływ na zmniejszenie stężenia cholesterolu w surowicy krwi u osób z hipercholesterolemią. Witamina ta pełni także istotną rolę w regulacji ciśnienia tętniczego krwi [30].

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 najczęściej występujących należy hydroliza glikozydów izoflawonów z uwolnieniem aktywnego aglikonu pod wpływem enzymów hydrolitycznych wytwarzanych przez drobnoustroje jelitowe. Procesy zachodzące w przewodzie pokarmowym mogą prowadzić również i do zmniejszenia aktywności przeciwutleniaczy. Przykładowo, flawonoidy, w tym kwercetyna, mogą ulegać rozkładowi mikrobiologicznemu w jelitach, z utworzeniem kwasu fenolowego 1-, 3-,

4-dihydroksyfenolooctowego, a za rozkład odpowiedzialne są m.in. bakterie *Eubacterium ramulus* [19].

Aktywność biologiczna przeciwutleniaczy uwarunkowana jest ich przyswajalnością. Biodostępność tych związków wynika z tego, jaka część wprowadzanych substancji jest trawiona, wchłonięta i włączona do procesów metabolicznych. Pośrednim dowodem absorpcji drogą jelitową polifenoli z żywności jest wzrost pojemności przeciwutleniającej plazmy krwi po spożyciu odpowiedniego produktu (herbaty, czerwonego wina, soku porzeczkowego i jabłkowego). Szybkość i zakres absorpcji jelitowej zdeterminowane są strukturą chemiczną polifenoli [61, 66], co w konsekwencji wpływa na ilość produktów ich przemian w osoczu. Tylko mała część polifenoli wykrywana jest w moczu, co oznacza, że nie zostały one zaabsorbowane z jelita, albo zostały zaabsorbowane, a następnie wydalone przez drogi żółciowe, albo też zmetabolizowane przez florę jelitową [19, 66].

Właściwości przeciwutleniające

Metody badania właściwości przeciwutleniających

Istnieje wiele metod analitycznych umożliwiających ocenę względnego potencjału lub pojemności przeciwutleniającej substancji prostych i ich mieszanin. Pojemność przeciwutleniającą wyraża się zazwyczaj jako aktywność w stosunku do syntetycznego i rozpuszczalnego w wodzie analogu tokoferolu - troloksu. Stosunkowo nieliczne są badania, w których dokonano porównania wyników badań przy użyciu różnych testów. Poniżej wskazano na niektóre metody, częściej stosowane:

- ORAC (oxygen radical absorbance capacity) określający zdolność wiązania rodników nadtlenkowych, zarówno w aspekcie wielkości, jak i czasu ich wiązania [10]. Zastosowanie techniki pomiaru fluorescencji umożliwia badania przeciwutleniaczy rozpuszczalnych w tłuszczach, wodzie oraz emulsji. Test ten stosowany jest m.in. do analizy owoców, warzyw i herbaty;
- TEAC (trolox equivalent antioxidant capacity) oznaczający ekwiwalent potencjału przeciwutleniającego troloksu w reakcji z rodnikiem ABTS^{*}. Metoda polega na monitorowaniu wygaszania przez przeciwutleniacze charakterystycznego, długofalowego pasma absorpcji kationorodnika ABTS^{*} przy długości fali 734 nm [57]. Dużą zaletą tego testu, w porównaniu z innymi metodami, jest możliwość jego stosowania w szerokim zakresie pH.
- Voltamperometria cykliczna CV (cyclic voltammetry) pozwala na wyznaczenie całkowitej zdolności redukcyjnej przeciwutleniaczy niskocząsteczkowych [12, 32]. Ujemną stroną metody jest niska czułość. Znalazła ona zastosowanie m.in. do badania olejów roślinnych, warzyw i owoców;
- TRAP (total radical-trapping antioxidant parameter) oznacza całkowitą zdolność wiązania wolnych rodników [84]. Okres indukcji badanej substancji porównywany

jest z okresem indukcji troloksu. Spektrofotometryczną wersję tej metody stosuje się m.in. do badania czerwonego i białego wina.

Owoce

Owoce stanowią bogate źródło wielu substancji o właściwościach przeciwutleniających, a zwłaszcza polifenoli, stanowiących jedną z głównych grup związków wtórnego metabolizmu. W zależności od budowy ich oddziaływanie na przebieg procesu utleniania może być zupełnie różne [51, 66, 85]. Wykazano, że związki te mogą działać:

- jako substancje redukujące,
- jako związki blokujące wolne rodniki,
- tworząc kompleksy z metalami katalizującymi reakcje utleniania,
- zapobiegając reakcjom powodowanym przez pojedynczy aktywny atom tlenu,
- hamując aktywność enzymów utleniających, jak np. lipooksygenaz.

Poszczególne gatunki owoców, a także odmiany, charakteryzują się zróżnicowanym składem jakościowym i ilościowym związków fenolowych. Ich zawartość oraz związana z nimi aktywność przeciwutleniająca uzależniona jest także od stopnia dojrzałości owoców oraz ich przechowywania po zbiorze [6, 7, 20, 80, 81, 82]. Wśród różnych gatunków owoców dużą aktywnością przeciwutleniającą i jednocześnie wysoką koncentracją polifenoli, w tym antocyjanów, wyróżniają się owoce aronii oraz borówki czernicy. Jabłka, wiśnie, truskawki, jeżyny, owoce bzu czarnego i dzikiej róży odznaczają się wysoką zawartością monomerów i oligomerów flawanolowych (19–30% zawartości polifenoli) [86, 87].

W owocach aronii wśród antocyjanów dominuje cyjanidyno-3-galaktozyd (57%), odznaczający się najwyższą aktywnością przeciwutleniającą spośród wszystkich znanych antocyjanów, natomiast w owocach truskawki – pelargonidyno-3-glukozyd (82%) [9, 17]. Z kolei owoce żurawiny charakteryzują się dużą zawartością peonidyno-3-galaktozydu, a porzeczki delfinidyno-3-rutynozydu [2, 62]. Truskawki są bogate również w kwas elagowy, który stanowi 35-40% ogólnej zawartości polifenoli [20, 25], a owoce żurawiny, borówki czernicy i borówki brusznicy zawierają dość duże ilości flawonoli, reprezentowanych głównie przez kwercetynę [29].

Na szczególną uwagę zasługują winogrona, zwłaszcza czerwone [85]. W owocach tych stwierdzono występowanie 10 kwasów fenolowych w formie wolnej i związanej, 16 glukozydów antocyjanowych (głównie malwidyno-3-glukozydu), 12 związków flawanolowych (głównie pochodnych kwercetyny i kempferolu), 5 monomerów flawonoli, w tym trzech wyróżniających się wysoką aktywnością przeciwutleniającą, jak: galokatechina, epigalokatechina i galusan epikatechiny, sześciu dimerów i dwóch trimerów proantocyjanidyn oraz tanin skondensowanych o wyższym stopniu polimeryzacji.

Niektóre gatunki owoców jagodowych charakteryzują się ponadto dużą zawartością tanin, głównie skondensowanych, którym przypisuje się silne właściwości

antymutagenne [53]. Wymienić tu należy przede wszystkim owoce aronii (5513,5 mM/kg) oraz tarniny (3614 mM/kg).

W licznych badaniach wykazano, że owoce jagodowe i pestkowe przewyższają pod względem aktywności przeciwutleniającej owoce cytrusowe, w których za właściwości przeciwutleniające odpowiedzialna jest przede wszystkim witamina C oraz w mniejszym stopniu karotenoidy. Do niedawna uważano, że jedynie askorbinian jest efektywnym przeciwutleniaczem, okazało się jednak, że takie właściwości wykazuje również i dehydroaskorbinian [25, 58].

Zróżnicowany skład ilościowy i jakościowy związków odpowiedzialnych za aktywność przeciwutleniającą w różnych gatunkach owoców determinuje różne drogi ich oddziaływania. Szerokim spektrum właściwości przeciwutleniających odznaczają się zwłaszcza ekstrakty z winogron, jeżyn, malin, truskawek, wiśni, borówki wysokiej. Wykazują zdolność hamowania utleniania frakcji LDL cholesterolu [22, 38, 42, 80], liposomów [42, 80], wiązania wolnych rodników [38] oraz hamują tworzenie rodników $\cdot\text{NO}$ [81]. Stwierdzono ponadto, że ekstrakty otrzymane z owoców wykazują na ogół lepsze właściwości przeciwutleniające aniżeli większość czystych fenoli i witamin [77], co sugerować może synergistyczne oddziaływanie przeciwutleniaczy względem siebie [18]. Zdolność wiązania rodników DPPH \cdot przez niektóre gatunki owoców przedstawiono w tab. 1.

Właściwości przeciwutleniające wykazują także produkty owocowe o różnym stopniu ich przetworzenia, przy czym pojemność przeciwutleniająca w głównym stopniu uzależniona jest od udziału masy owoców w produkcie oraz parametrów procesów jednostkowych podczas przetwarzania. Przykładowo, proces mrożenia pulpy truskawkowej pozwala na prawie 100% zachowanie początkowej pojemności przeciwutleniającej. Stosunkowo duża termostabilność flawonoidów powoduje, że podczas termicznego utrwalania pulpy czy też pasteryzacji kompotów wiśniowych i truskawkowych ma miejsce niewielkie – tylko około 10% obniżenie pojemności przeciwutleniającej [25, 86]. Większy natomiast spadek pojemności, do 50%, obserwowano podczas suszenia, co przypisuje się intensywnemu napowietrzeniu produktu suszonego. Uważa się, że również niektóre procesy jednostkowe stosowane w technologii soków, jak: oddzielanie części nierozpuszczalnych od soku komórkowego, rozcieńczanie soków silnie kwaśnych, klarowanie, a także długotrwałe przechowywanie, mogą przyczyniać się do znacznego obniżenia pojemności przeciwutleniającej tych produktów [25]. Badania soków i napojów na polskim rynku wykazały, iż najbogatsze w związki polifenolowe są soki z owoców aronii (średnio – 1525 mg/l) oraz soki z czarnej porzeczki (średnio – 1033 mg/l). Jednocześnie soki te okazały się najefektywniejszymi „zmiataczami” stabilnych rodników DPPH \cdot , dwukrotnie aktywniejszymi aniżeli soki cytrusowe oraz prawie pięciokrotnie niż sok jabłkowy [93].

Zdolność wiązania rodnika DPPH* oraz zawartość związków fenolowych i antocyjanów w ekstraktach z owoców jagodowych.

DPPH* radical scavenging activity and total content of phenol and anthocyanin compounds in berry extracts.

Gatunek Species	Fenole ogółem Total phenols [mg/g d.w.]	Antocyjany Anthocyanins [mg/g d.w.]	Zdolność wiązania rodnika DPPH* DPPH* radical scavenging activity [µmole Trolox/g]
Borówka wysoka / Highbush blueberry	26,4	6,3	128,4
Borówka czernica / Bilberry	55,1	26,3	287,9
Borówka brusznica / Cowberry	35,4	6,1	196,9
Żurawina / Cranberry	20,1	3,1	92,9
Porzeczka czarna / Black currant	40,9	15,3	200,3
Porzeczka czerwona / Red currant	13,0	2,3	71,3
Malina / Raspberry	39,0	4,4	208,0
Jeżyna / Blackberry	42,5	10,0	238,5
Truskawka / Strawberry	22,5	2,4	121,6

Źródło: / Source: [31]

Wśród produktów przetworzonych szczególnie dużą aktywnością przeciwutleniającą wyróżniają się wina. Naturalne przeciwutleniacze obecne w winach hamują oksydację lipidów, redukują utlenianie frakcji LDL, działają jako inhibitory enzymów oksydacyjnych, przy czym największe znaczenie przypisuje się flawonoidom [64]. Szczególnie dużą aktywność przeciwutleniającą wykazują wina z winogron czerwonych [28, 78, 85]. Wina owocowe, w tym wina otrzymane z owoców jagodowych odznaczają się bardzo szerokim zakresem koncentracji związków fenolowych (91 mg kwasu galusowego/l do 1820 mg kwasu galusowego/l), znacznie szerszym niż wina z winogron czerwonych (1390-1600 mg kwasu galusowego/l) [21]. Wykazano, że aktywność przeciwutleniająca win czerwonych, wyrażona jako TEAC, jest około 6-krotnie większa niż win różowych, i aż około 17-krotnie większa niż win białych (tab. 2).

Tabela 2

Całkowita pojemność przeciwutleniająca win.
Total antioxidant capacity of wines.

Wino / Wine	TEAC [mM Trolox]
Wino czerwone / Red wine	14,1
Wino różowe / Rosé wine	2,41
Wino białe / White wine	0,82

Źródło: / Source: [75]

Wino czerwone ponadto skutecznie wiąże rodniki NO, 10-krotnie efektywniej niż różowe i 40-krotnie anizeli wino białe [75]. Wg Kinsella [cyt za 40], polifenole ekstrahowane z wina, w tym kwercetyna, skuteczniej hamują oksydację frakcji LDL niż tokoferole. Aktywność przeciwutleniającą głównych grup polifenoli wina przedstawiono w tab. 3.

Tabela 3

Aktywność przeciwutleniająca polifenoli wina.
Antioxidant activity of wine polyphenols.

Związek / Compound	IC ₅₀ [μM]
Stilbeny: / Stilbens:	
Trans-resweratrol / Trans-resveratrol	2,6
Trans-piceid / Trans-piceid	19,3
Antocyjany: / Anthocyanins:	
Malwidyno 3-glukozyd / Malvidin 3-glucoside	3,8
Peonidyno 3-glukozyd / Peonidin 3-glucoside	3,2
Katechiny: / Catechins:	
Katechina / Catechin	1,9
Epikatechina / Epicatechin	1,0

Źródło: / Source: [85]

Whitehead i wsp. [cyt. za 85] stwierdzili istotny wzrost aktywności przeciwutleniającej osocza krwi po 1 godz. od chwili podania wolontariuszom 300 ml czerwonego wina, natomiast Fhurman i wsp. [cyt. za 85], po 4 tygodniach spożywania przez wolontariuszy 400 ml czerwonego wina dziennie, wykazali znaczący spadek poziomu frakcji LDL w osoczu krwi.

Badania ostatnich lat wskazują na obecność w winie rezweratrolu, związku o wysokiej aktywności przeciwutleniającej, wytwarzanego przez winorośl w warunkach stresowych, jak: infekcje grzybowe, naświetlanie promieniowaniem UV oraz czynniki mechaniczne (np. zranienia). Rezweratrol gromadzi się głównie w skórkach winogron czerwonych [37]. Jego zawartość w winach czerwonych może dochodzić nawet do kilkunastu mg/l i uzależniona jest od odmiany winorośli, okresu zbioru, sposobu maceracji miazgi oraz techniki otrzymywania moszczów i win. Rezweratrol obecny w winie wykazuje działanie przeciwutleniające m.in. poprzez: hamowanie reakcji

tworzenia nadtlenków i modulowanie ich zawartości w plazmie i tkankach, poprzez hamowanie aktywności enzymów peroksydacyjnych – lipooksygenazy i cyklooksygenazy, tworzenie kompleksów z metalami katalizującymi reakcje utleniania. Przypuszcza się ponadto, iż wykryte ostatnio w winie pochodne tetrahydroksystilbenu, zawierające nie trzy jak w przypadku rezweratrolu, lecz cztery grupy hydroksylowe, wykazują jeszcze silniejsze właściwości przeciwutleniające [74].

Warzywa

Warzywa charakteryzują się na ogół mniejszą pojemnością przeciwutleniającą aniżeli owoce, zwłaszcza owoce jagodowe. Wśród popularnych gatunków warzyw największą zdolnością wiązania rodników nadtlenkowych wyróżnia się czosnek, następnie jarmuż, szpinak, kapusta brukselka, brokuły i buraki, natomiast w odniesieniu do rodników wodorotlenowych – jarmuż i brukselka (tab. 4) [25].

W czosnku, silne właściwości przeciwutleniające przypisywane są związkom organicznym siarki, jak siarczek i disiarczek diallilu, allicyna, S-allilo cysteina [52]. Warzywa są najbogatszym źródłem kwercetyny oraz kempferolu i ich glikozydów. Szczególnie dużą zawartością kwercetyny charakteryzuje się cebula czerwona (117,4–1917 mg/kg) oraz cebula szalotka (53,4–1187 mg/kg).

Wśród warzyw na uwagę zasługują również pomidory i przetwory pomidorowe zawierające likopen. Związek ten, należący do karotenoidów, nie wykazuje aktywności prowitaminy A, ma jednak silne właściwości przeciwutleniające uwarunkowane obecnością w cząsteczce 11 sprzężonych wiązań podwójnych. W badaniach modelowych stwierdzono trzykrotnie większą aktywność likopenu w porównaniu z syntetycznym analogiem witaminy E. Wykazano zależność między ilością spożywanego likopenu a powstawaniem utlenionych form lipidów o mniejszej gęstości (LDL) i zmniejszeniem ryzyka zapadania na choroby serca. Zawartość likopenu w pomidorach kształtuje się średnio na poziomie 30 mg/kg świeżej masy. Przetwory pomidorowe, takie jak: sosy, soki, zupy i koncentraty stanowią również doskonałe źródło tego składnika. Procesy termiczne stosowane w przetwórstwie nie wpływają na zmniejszenie zawartości likopenu w produktach. Uważa się, że jego przyswajalność z produktów przetworzonych jest nawet większa niż ze świeżych pomidorów. Zawartość likopenu w soku pomidorowym kształtuje się średnio na poziomie ok. 80 mg/kg, w keczupie – ok. 130 mg/kg, a w koncentracie pomidorowym przekracza 300 mg/kg. Dieta, zwłaszcza w krajach śródziemnomorskich (Grecja, Włochy), bogata jest w produkty pomidorowe, a spożywanie ich często w obecności oleju z oliwek wydatnie zwiększa przyswajalność likopenu. W badaniach epidemiologicznych populacji zamieszkałych w USA, Chinach i Hiszpanii udowodniono statystycznie pozytywną rolę diety bogatej w pomidory i produkty pomidorowe w leczeniu nowotworów płuc [24]. Na uwagę zasługują pierwsze próby regulacji biosyntezy flawonoidów w pomidorach na drodze inżynierii genetycznej [66]. Wprowadzenie i ekspresja dwóch genów kukurydzy spowodowały 60-krotny wzrost stężenia kempferolu w mięszu

pomidorów. Z kolei wynikiem wprowadzenia genu petunii do pomidora, regulującego stężenie izomeryzy chalconu (CHI), było powstanie linii transgenicznego pomidora o 70-krotnie wyższym stężeniu kwercetyny, zbliżonym do cebuli.

T a b e l a 4

Całkowita pojemność przeciwutleniająca wybranych gatunków warzyw.
Total antioxidant capacity of selected vegetable species.

Gatunek / Species	ORAC _{ROO•} ^a	ORAC _{OH•} ^b	ORAC _{Cu} ^c
Czosnek /Garlic	19,4	1,1	2,7
Jarmuż / Kale	17,7	6,2	0,2
Szpinak / Spinach	12,6	2,8	1,6
Brukselka / Brussels sprouts	9,8	5,4	0,6
Brokuł / Broccoli	8,9	2,4	1,6
Burak / Beets	8,4	3,1	0,2
Papryka czerwona / Red bell pepper	7,1	0,6	0,4
Cebula / Onion	4,5	0,5	0,6
Kukurydza / Corn	4,0	2,2	1,0
Bakłażan / Eggplant	3,9	1,1	0,1
Kalafior / Cauliflower	3,8	1,1	0,2
Ziemniak / Potato	3,1	1,0	0,5
Kapusta / Cabbage	3,0	1,5	0,3
Groch zielony / String bean	2,0	1,7	0,2
Marchew / Carrot	2,1	0,8	0,5
Dynia żółta / Yellow squash	1,5	1,1	0,2
Seler / Celery	0,6	0,3	0,2

^{a,b} Dane wyrażone jako $\mu\text{mole Troloxu/g}$ świeżej masy/Data expressed as $\mu\text{mol of Trolox/g}$ of wet matter;

^c Dane wyrażone jako $\times 10^3$ jednostek/g świeżej masy/Data expressed as $\times 10^3$ units/g of wet matter.

Źródło: / Source: [11]

Bogatym źródłem przeciwutleniaczy są również nasiona pomidorów. Ekstrakty etanolowe z odtłuszczonych nasion pomidora wykazują właściwości przeciwutleniające zarówno w emulsjach, jak i w oleju rzepakowym. W związku z tym pojawiła się możliwość wykorzystania ich nie tylko jako źródła cennego oleju, ale także jako źródła przeciwutleniaczy [54].

Rośliny strączkowe

Obecność związków wykazujących właściwości przeciwutleniające stwierdzono również w nasionach roślin strączkowych, takich jak: soja, bób, bobik, groch, fasola, soczewica. Wśród związków fenolowych występujących w nasionach roślin strączkowych wymienić należy: glikozydy kwercetyny, kempferolu i myricetyny,

kwasy fenolowe, izoflawonoidy, katechiny, antocyjanidyny, fitoaleksyny i taniny. Stwierdzono, że związki te koncentrują się przede wszystkim w okrywach nasiennych, a nasiona odmian kwitnących kolorowo zawierają ich więcej [72].

W tej grupie produktów roślinnych szczególne znaczenie przypisuje się soi. Nasiona soi odznaczają się dużym zróżnicowaniem jakościowym i ilościowym izoflawonów. Soja zawiera ich od 37 300 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ do 140 300 $\mu\text{g}/100\text{ g}$, podczas gdy np. ciecierzycza – od 1 150 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ do 3 600 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ [41]. Uważa się, że związki te dzięki dużej aktywności przeciwutleniającej mogą chronić przed nowotworami sutka, macicy i jajników [4, 53].

W badaniach modelowych wykazano, że ekstrakt związków fenolowych z okrywy nasion fasoli dodany do oleju sojowego i słonecznikowego hamuje procesy utleniania efektywniej niż dodana w takiej samej koncentracji mieszanina BHA i BHT [47]. Swe właściwości przeciwutleniające nasiona fasoli kolorowej zawdzięczają obecności polifenoli w okrywie, wśród których dominują taniny. Ich ogólna zawartość w preparacie otrzymanym z okrywy fasoli czerwonej stanowiła 66%, natomiast w preparacie otrzymanym z okrywy fasoli brązowej aż 92%. Preparaty spowalniały proces utleniania kwasu linolowego oraz wykazywały zdolność wiązania rodników hydroksylowych [16, 43]. Również ekstrakty z okrywy nasion soczewicy, grochu, bobu i bobiku, bogate w taniny, wykazywały aktywność większą od syntetycznego przeciwutleniacza BHT. Dominujący udział w polifenolach okrywy nasion tych gatunków, od 55% do 78%, mają flawanole [72]. Wg Borowskiej i wsp. [8], ekstrakty metanolowe związków fenolowych z okrywy nasiennej grochu i bobu odznaczają się zdolnością do inhibowania aktywności lipazy i lipooksygenazy.

Stwierdzono, że również białka nasion grochu i fasoli wykazują zdolność hamowania reakcji tworzenia rodnika kationowego ABTS[•], przy czym większą aktywnością charakteryzują się preparaty z fasoli [88].

Z innych związków występujących w nasionach strączkowych, a także nasionach oleistych i ziarnie zbóż, którym przypisywane są właściwości przeciwutleniające, podkreślić należy znaczenie fosforanu inozytoli. Szczególnie dużą jego zawartością wyróżnia się soja. Fosforan inozytoli zaliczany jest do grupy przeciwutleniaczy pomocniczych (synergentów), które bezpośrednio nie przerywają łańcuchowej reakcji utleniania, jednak mogą wzmacniać skuteczność działania przeciwutleniaczy głównych. Ich właściwości przeciwutleniające tłumaczy się dużym powinowactwem do chelatowania składników mineralnych. Kwas fitynowy poprzez chelatowanie metali prooksydacyjnych (zwłaszcza jonów żelaza), katalizujących reakcje Fentona, może hamować tworzenie niebezpiecznych rodników wodorotlenowych [38].

Ziarno zbóż

Przeciwutleniacze ziarna zbóż reprezentowane są przez związki fenolowe (kwasy fenolowe, lignany), witaminę E, pierwiastki śladowe, takie jak: selen, miedź, cynk i mangan będące składnikami enzymów przeciwutleniających, kwas fitynowy,

zredukowany glutation i melatoninę. Związki te mogą działać jako: „zmiatacze” wolnych rodników, czynniki redukujące, związki kompleksujące metale prooksydacyjne, związki zapobiegające powstawaniu tlenu singletowego [94]. Kwasy fenolowe w ziarnie zbóż koncentrują się w zewnętrznych warstwach, a ich głównym kierunkiem aktywności jest zdolność wiązania wolnych rodników.

Produkty zbożowe wykazują na ogół słabszą pojemność przeciwutleniającą niż owoce i warzywa. Wyjątek stanowią otręby z owsa. W owsie związki fenolowe reprezentowane są przez wolne kwasy fenolowe, estry i glikozydy kwasów fenolowych, flawonole. W mące owsianej stwierdzono obecność kwasów: p-hydroksybenzoesowego, protokatechowego, wanilinowego, trans-p-kumarowego, trans-sinapowego, kawowego i ferulowego, przy czym w największych ilościach występuje kwas ferulowy [28]. Kwas ferulowy jest także dominującym kwasem fenolowym w życie, pszenicy i jęczmieniu. Uważa się, że silne właściwości przeciwutleniające alkoholowych ekstraktów z ziarna owsa, a także z mąki, determinuje przede wszystkim obecność estrów kwasu kawowego i ferulowego. Wg Onyeneho i Hettiarachchy'ego [47], działanie przeciwutleniające ekstraktu otrąb pszenicznych potęgowane jest synergizmem różnych kwasów fenolowych, jak również obecnością innych biologicznie aktywnych składników. Stąd też ekstrakty z owsa i mąki owsianej zalecane są jako dodatki do tłuszczów, produktów mięsnych i rybnych [51, 70, 92]. W nasionach gryki stwierdzono obecność sześciu flawonoidów: rutyny, kwercetyny, orientyny, izoorientyny, witeksyny i izowiteksyny w ilości sumarycznej ok. 93 mg/100 g [15]. Zawartość flawonoidów w gryce jest zróżnicowana w zależności od odmiany. Związki te koncentrują się przede wszystkim w okrywie owocowo-nasiennej [49]. Autorzy ci wykazali stosunkowo słabą korelację między zawartością tych związków a aktywnością przeciwutleniającą, przypuszcza się zatem, że również inne składniki gryki wpływają na jej aktywność. W kaszach gryczanych, zarówno jasnych i ciemnych, stwierdzono występowanie tylko dwóch flawonoidów: rutyny i izowiteksyny. Zawartość flawonoidów kształtuje się średnio na poziomie 18,8 mg/100 g w kaszach jasnych (nieprażonych) i 4,0 mg/100 g w kaszach prażonych. [15]. Wg Dietrych-Szóstak i Oleszek [14], proces gotowania kaszy powoduje około dwukrotne zmniejszenie zawartości flawonoidów. Watanabe [83], badając aktywność przeciwutleniającą czterech katechin i rutyny wyizolowanych z nasion gryki, stwierdził, że większą aktywnością odznaczają się katechiny.

Wśród zbóż największe ilości heksafosforanu inozytolu (12,8 mg/g) zawiera pszenica. [34]. Heksafosforan inozytolu jest związkiem odpornym na obróbkę hydrotermiczną, o czym świadczy niewielki stopień jego degradacji podczas ekstruzji lub pieczenia [94]. Proces kiełkowania i fermentacji ciasta powoduje natomiast znaczną degradację tego związku [23]. Aktywność przeciwutleniająca heksafosforanu inozytolu wiąże się z jego zdolnością do chelatowania kationów dwuwartościowych [44, 59]. Związek ten inhibuje tworzenie rodników hydroksylowych ($\cdot\text{OH}$) przez chelatowanie żelaza, a także tworzenie anionów ponadtlenkowych.

W ziarnie zbóż stwierdzono także obecność selenu, który jest kofaktorem peroksydazy glutationowej, chroniącej tkanki przed uszkodzeniem przez aktywny tlen [94]. Bogatym źródłem selenu i witaminy E są zarodki zbożowe [46]. Wg Amarowicza i wsp. [1], ekstrakty z zarodków pszenżyta wykazują większą zdolność wiązania rodnika DPPH[•] niż z części bezzarodkowej ziarniaków, jednak wyraźnie mniejszą niż np. ekstrakty zielonej herbaty czy też nasion roślin strączkowych bogatych w taniny. Wg Zielińskiego i Kozłowskiej [95], aktywność przeciwutleniającą metanolowych ekstraktów z ziarna zbóż można uszeregować następująco: gryka > jęczmień > owies > pszenica = żyto.

Nasiona roślin oleistych

Najważniejszymi i najlepiej poznanymi przeciwutleniaczami występującymi w surowcach oleistych są tokoferole. Związki te w różnych ilościach występują we wszystkich tłuszczach roślinnych. Największe ilości tokoferolu zawiera olej z zarodków pszennych, sojowy i kukurydziany. Spośród izomerów tokoferoli najsilniejszą aktywność przeciwutleniającą wykazują γ - i δ -tokoferol [39]. Oleje roślinne zawierają przede wszystkim α - i γ -tokoferole. W oleju słonecznikowym, i bawełnianym dominuje α -tokoferol, natomiast w olejach: rzepakowym bezerukowym, kukurydzianym, sojowym, oliwkowym i sezamowym wykryto najwyższą zawartość γ -tokoferolu. W olejach rzepakowych zawartość tokoferoli waha się w przedziale 30-100 mg/100 g [91]. Tokoferolom towarzyszą w nieznacznych ilościach tokotrienole, wykazujące nieco wyższą aktywność przeciwutleniającą niż odpowiadające im tokoferole [39]. Aktywność przeciwutleniająca tokoferoli uzależniona jest od ich zawartości w olejach, a jako synergenty tokoferoli wymienia się fosfolipidy.

Inną grupę związków o właściwościach przeciwutleniających stanowią karotenoidy. Związki te są częściowo usuwane z olejów surowych w procesie bielenia. Podczas etapu dezodoryzacji mogą ulegać degradacji z utworzeniem niepolarnych jak i utlenionych pochodnych [48]. Z innych przeciwutleniaczy występujących w nasionach roślin oleistych i olejach wymienić należy skwalen. Spośród olejów roślinnych większe ilości skwalenu zawiera olej z oliwek, olej z zarodków pszennych i ryżowych, co wiąże się z ich znaczną naturalną trwałością [39]. Podczas rafinacji oliwy skwalen może ulegać częściowo izomeryzacji i odwodorowaniu [35].

Sezam swą odporność na procesy utleniania zawdzięcza obecności sezamolu i jego pochodnych. W oleju sezamowym sezamol występuje w postaci związanej jako sezamolina, która hydrolizując uwalnia sezamol. Innym związkiem wiążącym sezamol jest sezamina. Wykazano, że podczas działania przeciwutleniającego przybywa sezamolu i jednocześnie zmniejsza się ilość sezaminy. Olej sezamowy dodany nawet w bardzo małych ilościach do innych olejów roślinnych oraz tłuszczów utwardzonych może znacznie zwiększać ich trwałość. Cenną zaletą oleju sezamowego jest zapobieganie oksydacyjnym reakcjom łańcuchowym wywoływanym przez aktywne wolne rodniki [63].

Naturalne polifenole występujące w nasionach roślin oleistych stabilizują produkowane z nich oleje. Olej z oliwek swą dużą odporność na procesy oksydacyjne zawdzięcza obecności tych związków [51]. Ogólna zawartość polifenoli w oleju z oliwek wynosi 50 – 800 mg/kg [79]. W nasionach rzepaku i oleju stwierdzono obecność kwasu sinapowego, ferulowego, kawowego i kumarowego [90]. Ich koncentracja w olejach wynika nie tylko z jakości przetwarzanego surowca, ale także sposobu wyodrębniania i rafinacji oleju.

Procesy rafinacyjne stosowane podczas produkcji olejów powodują spadek zawartości natywnych przeciwutleniaczy – tokoferoli, fosfolipidów, karotenoidów i steroli. Ubytki tych związków są różne na poszczególnych etapach rafinacji. Wg Szeligi [65] spadek zawartości tokoferoli w oleju rzepakowym po procesie odśluzowania, odkwaszania i odbarwiania wynosił 13%, a po odwanianiu – dalsze 19%. Płatek i wsp. [56] zaobserwowali podczas rafinacji również ubytek steroli. Nie ma to jednak większego wpływu na stabilność oksydacyjną olejów, gdyż udział δ -5-awenasterolu w fitosterolach rzepaku nie przekracza 4%, a tylko ten związek wykazuje właściwości przeciwutleniające.

Herbata

Wśród produktów roślinnych szczególnie silnymi właściwościami przeciwutleniającymi wyróżnia się herbata [76]. Zawartość związków fenolowych, głównie odpowiedzialnych za właściwości przeciwutleniające herbaty, może sięgać nawet 35% suchej masy liści. Są to przede wszystkim katechiny, teaflawiny i tearubiginy. W tab. 5 scharakteryzowano aktywność przeciwutleniającą (IC_{50}) poszczególnych związków fenolowych występujących w herbacie oraz wyciągów z różnych gatunków herbat.

Tabela 5

Aktywność przeciwutleniająca fenoli herbaty i frakcji herbaty.
Antioxidant activity of phenols in tea and tea fractions.

Fenole herbaty / Frakcje herbaty Phenols in tea / Tea fractions	$IC_{50}[\mu M]$
Związki fenolowe: / Phenols:	
Kwas galusowy / Gallic acid	1,25
Katechina / Catechin	0,67
Kwas chlorogenowy / Chlorogenic acid	0,30
Epikatechina / Epicatechin	0,19
	0,14

Galusan epikatechiny / Epicatechin gallate	0,10
Epigalokatechina / Epigallocatechin	
Frakcje herbaty: / Tea fractions:	
Wyciąg z czarnej herbaty (46,32% polifenoli)	0,59
Black tea extract (46,32%)	
Wyciąg z zielonej herbaty (46,19% polifenoli)	0,22
Green tea extract (46,19%)	
Preparat polifenoli z czarnej herbaty	0,16
Purified black tea polyphenols	
Preparat polifenoli z zielonej herbaty	0,13
Purified green tea polyphenols	

Źródło: / Source: [76]

W herbacie zielonej występują głównie katechiny, natomiast w herbacie oolong i czarnej dominują teaflawiny i tearubiginy, powstające w procesie fermentacji liści herbacianych [85]. Aktywność katechin stanowi 90% ogólnej pojemności przeciwutleniającej ekstraktu zielonej herbaty. Katechiny mają znacznie silniejsze właściwości przeciwutleniające w porównaniu ze związkami dotychczas uważanymi za silne antyoksydanty, jak np.: glutation, kwas askorbinowy, tokoferol, BHT, BHA czy mannitol [50]. Efektywność przeciwutleniającego działania zielonej herbaty zależy od ilości poszczególnych katechin. Podkreśla się zwłaszcza ich zdolność wiązania, szczególnie niebezpiecznych dla organizmu, rodników hydroksylowych. Głównym składnikiem frakcji fenolowej zielonej herbaty jest galusan (-)epigalokatechiny, zawierający w cząsteczce aż 8 wolnych grup OH, decydujących o jego wysokiej aktywności przeciwutleniającej. Biorąc pod uwagę aktywność wiązania rodników DPPH, katechiny zielonej herbaty można uszeregować następująco: galusan epigalokatechiny > galusan epikatechiny > epigalokatechina > epikatechina. Katechiny wydzielone z zielonej herbaty wykazują aktywność przeciwutleniającą zbliżoną do przeciwutleniaczy syntetycznych, takich jak BHA i BHT [85].

Czarna herbata wykazuje słabsze właściwości przeciwutleniające niż herbata zielona, co związane jest z obecnością teaflawin. Zawartość teaflawin w handlowych gatunkach herbaty jest znacznie zróżnicowana w zależności od pochodzenia oraz warunków stosowanych w procesie technologicznym [85]. M.in. stwierdzono słabszą zdolność do wiązania rodnika DPPH[•] przez ekstrakt czarnej herbaty w porównaniu z herbatą zieloną [71]. Wg Yena i Chena [89], aktywność wiązania rodników DPPH[•] wyrażona w procentach, przedstawiała się następująco: w przypadku herbaty zielonej – 59,4%, herbaty oolong – 54,6%, i herbaty czarnej – 49,0%. Z kolei efektywność wiązania anionów nadtlenkowych przez ekstrakty badanych herbat zmniejszała się w porządku: herbata oolong > herbata zielona > herbata czarna. W badaniach wykazano również, że aktywność przeciwutleniająca zależy od sposobu przygotowania naparu herbaty. Wydłużenie czasu parzenia czarnej i zielonej herbaty z 0,5 min do 10

min powoduje wzrost zawartości polifenoli w ekstraktach i jednocześnie zwiększenie aktywności przeciwutleniającej w teście TEAC oraz w teście określającym zdolność inhibującą utlenianie frakcji LDL. Mieszanie herbaty podczas parzenia powodowało zwiększenie ekstraktywności związków fenolowych o blisko 100%. Jeszcze większą koncentrację związków fenolowych w naparze uzyskiwano poprzez rozdrabnianie liści herbaty [36].

Zioła i przyprawy

Związki chemiczne wykazujące właściwości przeciwutleniające występują także w wielu ziołach i przyprawach [29]. Najbardziej poznanymi są: rozmaryn i szalwia. Znane i cenione ze względu na właściwości przeciwutleniające są również oregano, tymianek, kurkuma, gałka muskatołowa, cynamon, kminek, imbir, goździki, pieprz chili, papryka [5, 27, 60, 68, 69]. Związki fenolowe reprezentowane są głównie przez: diterpeny fenolowe, kwasy fenolowe i flawonoidy. Wykazują one większą aktywność przeciwutleniającą w porównaniu z naturalnym przeciwutleniaczem – β -tokoferolem [52]. Dodatek przypraw podczas obróbki kulinarnej przygotowywania potraw może zatem w pewnym stopniu zapobiegać powstawaniu produktów utleniania [55].

W szalwi i rozmarynie składnikami odpowiedzialnymi za te właściwości są: karnozol, epirozmanol i karnozan metylu. Ponadto z rozmarynu wyizolowano szesnaście innych związków, jak: flawonony, dwuterpeny steroidowe, trójterpeny. Jednak aktywność wyciągów z rozmarynu i szalwi jest ściśle związana z dwoma dwuterpenami fenolowymi – kwasem karnozowym i karnozolem. Najsilniejszym działaniem wyróżnia się kwas karnozowy, stosunkowo nietrwały, zwłaszcza w roztworach i pod działaniem wysokiej temperatury. Stwierdzono, że powstałe pochodne także wykazują aktywność przeciwutleniającą [13, 29, 60, 69]. Właściwości powyższe powodują, że kwas karnozowy może być stosowany w celu stabilizacji tokoferoli podczas przechowywania produktów żywnościowych [69].

Ekstrakty z rozmarynu w postaci płynnej i sypkiej produkowane są na skalę przemysłową [13, 33, 60]. Ich stosowanie wiąże się jednak z nadaniem produktowi specyficznego, nie zawsze pożądanego zapachu. Ekstrakt rozmarynowy okazał się efektywnym przeciwutleniaczem w żywności zakąskowej, majonezie, produktach mięsnych, żywności pochodzenia morskiego, a także przetworach ziemniaczanych i sosach [40]. Związki obecne w ekstrakcie z rozmarynu zapobiegają oksydacji oleju sojowego i kukurydzianego, wykazując m.in. zdolność do wiązania rodników ponadtlennokowych. Ekstrakt rozmarynowy dodawany w postaci mieszaniny z BHT w proporcjach 75:25; 50:50 i 25:75 wykazywał efekt synergistyczny w hamowaniu utleniania oleju sojowego. Stwarza to możliwość częściowego zastąpienia syntetycznych przeciwutleniaczy lub nawet całkowitego ich wyeliminowania [5]. Zadowalający efekt przeciwutleniający uzyskano stosując inne przyprawy, jak ziele angielskie, paprykę, majeranek, pieprz czarny i biały, a także mieszanki przypraw do suchych kiełbas wieprzowo-wołowych. Skutecznymi przeciwutleniaczami w oleju

słonecznikowym są – rozmaryn i bazylija. Natomiast olejki z kminku i tymianku okazały się dobrymi przeciwutleniaczami masła, bardziej skutecznymi niż BHT. Główne składniki olejku tymiankowego o dużej aktywności przeciwutleniającej, to tymol i karwakol [29]. Kołakowski [cyt. za 33] zaobserwował silne działanie przeciwutleniające czosnku i suszu czosnkowego, pieprzu ziołowego, jałowca, pieprzu czarnego, kminku, tymianku, rozmarynu i goździków w mrożonych farszach rybnych. W Stanach Zjednoczonych, jako dodatek do gumy do żucia, stosowany jest eugenol izolowany z goździków.

W ziołach, takich jak: fiołek trójbarwny, skrzyp, kwiat bzu czarnego, rumianek i pokrzywa, aktywność przeciwutleniającą przypisuje się przede wszystkim flawonom. Inne rośliny zielarskie, jak np. dzika róża czy rokitnik, bogate są także w witaminę C [46].

Zastosowanie naturalnych przeciwutleniaczy w technologii żywności

Jednym z obserwowanych trendów w przetwórstwie żywności jest zastępowanie syntetycznych przeciwutleniaczy naturalnymi inhibitorami utleniania o różnym pochodzeniu. Stosowane substancje syntetyczne (BHA, BHT), wprawdzie dość skuteczne w przedłużaniu trwałości produktów, budzą obecnie zastrzeżenia zarówno lekarzy, dietetyków, jak i konsumentów. Poza grupą tokoferoli i preparatów z rozmarynu, zawierających bardzo skuteczne fenole diterpenowe, inne związki naturalne nie znalazły dotychczas szerszego zastosowania. Od lat duże nadzieje wiąże się z bardzo liczną grupą flawonoidów. Związki typu pirokatecholu wykazują zdecydowanie największą aktywność hamowania procesu utleniania tłuszczów. Najbardziej znane polifenole tego typu: kwercetyna, rutyna, czy kwercytryna hamują utlenianie masła, smalcu, tłuszczów rybich i olejów w stopniu zbliżonym do przeciwutleniaczy syntetycznych. Produktami ich utlenienia mogą być jednakże związki o strukturze chinonów, podejrzewane o niekorzystne skutki dla organizmu [66, 67]. Można przypuszczać, że wiele przeciwutleniaczy – głównie zawartych w przyprawach i ziołach, takich jak: oregano, tymianek, majeranek, lawenda, rozmaryn, znajdzie tylko ograniczone zastosowanie, ze względu na swój charakterystyczny zapach wprowadzany do żywności. W zależności od rodzaju żywności stosuje się różne rodzaje i stężenia przeciwutleniaczy. Mogą to być pojedyncze substancje lub ich mieszaniny. Badania przeprowadzone nad skutecznością działania przeciwutleniaczy w oleju i emulsjach wykazały większą efektywność przeciwutleniaczy polarnych w lipidach niepolarnych, podczas gdy przeciwutleniacze niepolarne są bardziej aktywne w emulsjach lipidowych.

Jak dotąd, naturalne przeciwutleniacze nie znalazły tak szerokiego zastosowania jak syntetyczne. Występują trudności z wyodrębnieniem ich w postaci czystej z surowców roślinnych, ponadto są gorzej rozpuszczalne, zwłaszcza w olejach, są stosunkowo mało odporne na wysoką temperaturę i promieniowanie świetlne. Mogą powodować przebarwienia, szczególnie w obecności metali ciężkich pochodzących z

żywności lub opakowań. Wprowadzają swoistą barwę, smak i aromat. Czynniki te ograniczają ich szersze wprowadzenie w przetwórstwie spożywczym.

Przykładem szeroko zakrojonych badań mających na celu poszukiwanie skutecznych przeciwutleniaczy wśród surowców roślinnych mogą być prace Mc Carthy'ego i wsp. oraz Tanga i wsp. [cyt. za 66]. Badali oni wyciągi: aloesu, nasion kozieradki, korzenia żeń-szenia, gorzycy, rozmarynu, szałwi, białka soi, katechin herbaty i koncentratów białka pszenicy na trwałość pasztecików ze świeżego i mrożonego mięsa wieprzowego. Najbardziej skutecznymi wyciągami roślinnymi, pod względem ochrony mięsa przed utlenianiem lipidów i utratą barwy, okazały się: ekstrakt herbaty stosowany w ilości 0,25%, ekstrakt rozmarynu w ilości 0,10% i ekstrakt szałwi w ilości 0,05% [66]. Natomiast Jarosławska i wsp. [26] badali efekt stosowania naturalnych przeciwutleniaczy na stabilizację oleju słonecznikowego. W ostatnich latach najbardziej wszechstronnie badane są flawonoidy zielonej herbaty, które ze względu na swoją wyjątkową skuteczność i słabo wyczuwalne cechy sensoryczne, mają szanse na znalezienie szerokiego zastosowania [11, 66].

Udokumentowany naukowo związek między dietą a zdrowiem człowieka spowodował w wielu krajach podjęcie produkcji żywności o szczególnej jakości zdrowotnej, określanej mianem żywności funkcjonalnej [73]. Składnikami tego typu żywności mogą być naturalne przeciwutleniacze polifenolowe, takie jak kwasy fenolowe i flawonoidy.

Badanie związków fenolowych zidentyfikowanych w żywności pochodzenia roślinnego i poszukiwanie substancji czynnych do projektowania nowego wyrobu rynkowego jest procesem długotrwałym i kosztownym. Okazuje się, że niezwykle pomocne mogą być liczne empiryczne lub półempiryczne zależności, np. ilościowe zależności między strukturą chemiczną substancji czynnej a jej właściwościami fizycznymi lub działaniem biologicznym (QSAR). Szybki rozwój mocy obliczeniowej komputerów sprawia, że nieocenione usługi w zakresie poszukiwania nowych komponentów dla niektórych wyrobów rynkowych może odegrać zastosowanie metod modelowania molekularnego (obliczeń kwantowo-chemicznych) [67].

Podsumowanie

Istotne źródło związków o właściwościach przeciwutleniających stanowi dla człowieka żywność pochodzenia roślinnego. W wielu badaniach wykazano, że żywność ta, bogata w substancje o właściwościach przeciwutleniających, odgrywa istotną rolę w profilaktyce wielu chorób cywilizacyjnych, jak np. miażdżyca, cukrzyca, zaćma, choroba Parkinsona, choroba Alzheimera. W szerokim znaczeniu, przeciwutleniacze obejmują wszystkie rodzaje substancji hamujących reakcje z tlenem lub ozonem, względnie działających pośrednio poprzez wiązanie niektórych prooksydantów. Związki te reprezentowane są przez polifenole (w tym kwasy fenolowe, flawonoidy, taniny), witaminy – A, C i tokoferole, karotenoidy, kwasy organiczne, selen, fityniany, tiocyjaniany i wiele innych.

Wśród produktów roślinnych szczególnie dużą aktywnością przeciwutleniającą wyróżniają się owoce jagodowe bogate w antocyjany i taniny, a także produkty przetworzone, jak soki i wina. W grupie warzyw wskazać należy na pomidory i przetwory pomidorowe bogate w likopen, ponadto takie gatunki, jak: czosnek, jarmuż, brokuły, buraki i brukselka. Do napojów o silnych właściwościach przeciwutleniających należy herbata, w której związkami o największej aktywności są katechiny.

Udokumentowany naukowo związek między dietą a zdrowiem człowieka spowodował podjęcie w wielu krajach produkcji żywności wzbogacanej w przeciwutleniacze pochodzenia naturalnego. W projektowaniu nowych wyrobów rynkowych i poszukiwaniu odpowiednich komponentów funkcjonalnych istotne znaczenie mają obiektywne i szybkie metody określania właściwości przeciwutleniających. W ostatnim czasie duże nadzieje wiąże się z zastosowaniem metod modelowania molekularnego.

Literatura

- [1] Amarowicz R., Weidner S., Krupa U.: Zdolność do zmiatania wolnego rodnika DPPH przez ekstrakty związków fenolowych z bezzarodkowej części ziarniaków oraz z zarodków pszenżyta. *Brom. Chem. Toksykol.*, 2002, **35** (2), 107-111.
- [2] Andersen Q.M.: Anthocyanins in fruit of *Vaccinium oxycoccus* L. (small cranberry). *J. Food Sci.*, 1989, **54** (2), 383-384, 387.
- [3] Ball S.: Antyoksydanty w medycynie i życiu człowieka. Oficyna Wyd. Medyk, Warszawa 2001.
- [4] Bartnikowska E.: Szaleć za soją. *Przegl. Piek.*, 2000, **8**, 12-14.
- [5] Basaga H., Tekkaya C., Acikel F.: Antioxidative and free radical scavenging properties of rosemary extract. *Lebensm. - Wiss. u. - Technol.*, 1997, **30**, 105-108.
- [6] Borowska J.: Owoce i warzywa jako źródło naturalnych przeciwutleniaczy (1). *Przem. Ferm.*, 2003, **5**, 11-12.
- [7] Borowska J.: Owoce i warzywa jako źródło naturalnych przeciwutleniaczy (2). *Przem. Ferm.*, 2003, **6**, 29-30.
- [8] Borowska J., Zadernowski R., Nowak-Polakowska H., Nesterowicz J.: Związki fenolowe nasion grochu i bobu jako inhibitory lipazy i lipoksygenazy. *Mat. II Konf. Nauk. „Żywność a Zdrowie”*, Łódź 1999, s. 66.
- [9] Bridle P., Garcia-Viguera C.: Analysis of anthocyanins in strawberries and elderberries. A comparison of capillary zone electrophoresis and HPLC. *Food Chem.*, 1997, **59** (2), 299-304.
- [10] Cao G., Prior R. L.: The measurement of oxygen radical absorbance capacity in biological samples. *Meth. Enzymol.*, 1999, **229**, 50-62.
- [11] Cao G., Sofic E., Prior R.L.: Antioxidant capacity of tea and common vegetables. *J. Agric. Food Chem.*, 1996, **44**, 3426-3431.
- [12] Chevion S., Berry E. M., Kitrossky N. K., Kohen R.: Evaluation of plasma low molecular weight antioxidant capacity by cyclic voltammetry. *Free Radic. Biol. Med.*, 1997, **22**, 411-421.
- [13] Cuvelier M-E., Berset C., Richard H.: Antioxidant constituents in sage (*Salvia officinalis*). *J. Agric. Food Chem.*, 1994, **42**, 665-669.
- [14] Dietrych-Szóstak D., Oleszek W.: Zawartość związków flawonoidowych w kaszy gryczanej po ugotowaniu. *Mat. II Konf. Nauk. „Żywność a Zdrowie”*, Łódź 1999, s. 73.

- [15] Dietrych–Szóstak D., Oleszek W.: Obróbka technologiczna a zawartość antyoksydantów w przetworach gryczanych. *Przem. Spoż.*, 2001, **1**, 42-43.
- [16] Drużyńska B.: The use of fluorometric method to study the antioxidative properties of legume seeds – short report. *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, 2000, **9/50**, 47-49.
- [17] Espin J.C., Soler-Rivas C., Wichers H.J., Garcia-Viguera C.: Anthocyanin – based natural colorants: A new source of antiradical activity for foodstuff. *J. Agric. Food Chem.*, 2000, **48**, 1588-1592.
- [18] Ghiselli A., Nardini M., Baldi A., Scaccini C.: Antioxidant activity of different phenolic fractions separated from an Italian red wine. *J. Agric. Food Chem.*, 1998, **46**, 362-367.
- [19] Grajek W.: Rola przeciwutleniaczy w zmniejszeniu ryzyka wystąpienia nowotworów i chorób układu krążenia. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2004, **1 (38)**, 3-11.
- [20] Häkkinen S.H., Törrönen A.R.: Content of flavonols and selected phenolic acids in strawberries and *Vaccinium* species: influence of cultivar, cultivation site and technique. *Food Res. Int.*, 2000, **33**, 517-524.
- [21] Heinonen I.M., Lehtonen P.J., Hopia A.I.: Antioxidant activity of berry and fruit wines and liquors. *J. Agric. Food Chem.*, 1998, **46**, 25-31.
- [22] Heinonen I.M., Meyer A.S., Frankel E.N.: Antioxidant activity of berry phenolics on human low-density lipoprotein and liposome oxidation. *J. Agric. Food Chem.*, 1998, **46**, 4107-4112.
- [23] Honke J., Kozłowska H., Vidal-Valverde C., Frias J., Górecki R.: Changes in quantities of inositol phosphates during maturation and germination of legume seeds. *Z. Lebensm. Unters. Forsch. A.*, 1998, **206**, 279-283.
- [24] Horbowicz M., Saniewski M.: Biosynteza, występowanie i właściwości biologiczne likopenu. *Post. Nauk Rol.*, 2000, **1**, 29-46.
- [25] Horubała A.: Pojemność przeciwutleniająca i jej zmiany w procesach przetwarzania owoców i warzyw. *Przem. Ferm.*, 1999, **3**, 30-32.
- [26] Jarosławska A., Sokół-Łętowska A., Oszmiański J.: Próba zastosowania naturalnych polifenoli do oleju słonecznikowego. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2003, **2 (35)**, 77-86.
- [27] Jitoe A., Masuda T., Tengah I.G.P., Suprpta D.N., Gara I.W., Nakatani N.: Antioxidant activity of tropical ginger extracts and analysis of the contained curcuminoids. *J. Agric. Food Chem.*, 1992, **40**, 1337-1340.
- [28] Kähkönen M.P., Hopia A.I., Vuorela H.J., Rauha J-P., Pihlaja K., Kujala T.S., Heinonen M.: Antioxidant activity of plant extracts containing phenolic compounds. *J. Agric. Food Chem.*, 1999, **47**, 3954-3962.
- [29] Kalt W., Forney C.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.
- [30] Kanner J., Frankel E., Granit R., German B., Kinsella J.E.: Natural antioxidants in grapes and wines. *J. Agric. Food Chem.*, 1994, **42**, 64-69.
- [31] Katsube N., Iwashita K., Tsushida T., Yamaki K., Kobori M.: Induction of apoptosis in cancer cells by bilberry (*Vaccinium myrtillus*) and the anthocyanins. *J. Agric. Food Chem.*, 2003, **51**, 68-75.
- [32] Kohen R., Beit-Yannai E., Berry E. M., Tiroshi O.: Overall low molecular weight antioxidant activity of biological fluids and tissues by cyclic voltammetry. *Meth. Enzymol.*, **300**, 285-296.
- [33] Kostrzewa E.: Aromatyzujące, konserwujące i barwiące właściwości przypraw ziołowych. *Wiad. Zielar.*, 1997, **3**, 17-19.
- [34] Kozłowska H., Troszyńska A.: Rola naturalnych substancji nieodżywczych pochodzenia roślinnego jako składników żywności funkcjonalnej. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 1999, **4 (21) Supl.**, 63-73.
- [35] Lanzón A., Albi T., Cert A., Gracián J.: The hydrocarbon fraction of virgin olive oil and changes resulting from refining. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 1994, **71 (3)**, 285-291.

- [36] Liebert M., Licht U., Bohm V., Bitsch R.: Antioxidant properties and total phenolics contents of green and black tea under different brewing conditions. *Z. Lebensm. Unters. Forsch. A.*, 1999, **208**, 217-220.
- [37] Limikanra O., Grimm C.C., Rodin J.B., Inyang I.D.: Hydroxylated stilbenes in selected american wines. *J. Agric. Food Chem.*, 1996, **44**, 1111-1115.
- [38] Łata B.: Owoce jagodowe źródłem antyoksydantów. *Ogrodnictwo*, 2002, **6**, 11-13.
- [39] Małecka M.: Składniki frakcji nieglicerydowej olejów roślinnych jako przeciwutleniacze. *Tłuszcz. Jad.*, 1995, **30** (3), 123-130.
- [40] Maniak B., Targoński Z.: Przeciwutleniacze naturalne występujące w żywności. *Przem. Ferm.*, 1996, **4**, 7-10.
- [41] Mazur W.M., Duke J.A., Wahala K., Rasku S., Adlercreutz H.: Isoflavonoids and lignans in legumes: Nutritional and health aspects in humans. *J. Nutr. Biochem.*, 1998, **9**, 193-200.
- [42] Meyer A.S., Yi O-S., Pearson D.A., Waterhouse A.I., Frankel E.N.: Inhibition of human low-density lipoprotein oxidation in relation to composition of phenolic antioxidants in grapes. *J. Agric. Food Chem.*, 1997, **45**, 1638-1643.
- [43] Mikołajczak A., Drużyńska B.: Antyoksydacyjne właściwości polifenoli okryw nasiennych fasoli kolorowej. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 1999, **3** (20) Supl., 112-117.
- [44] Minihane A.M., Rimbach G.: Iron absorption and the iron binding and antioxidant properties of phytic acid. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 2002, **37** (7), 741-748.
- [45] Narojek L.: Zdrowie zakłęte w owocach. *Przegl. Gastr.*, 1997, **9**, 22-23.
- [46] Obidowska G.: Substancje pochodzenia roślinnego w profilaktyce nowotworów. *Przegl. Piek.*, 1998, **7**, 2-4.
- [47] Onyeneho S.N., Hettiarachchy C.D.: Effect of navy bean hull extract on the oxidative stability of soy and sunflower oils. *J. Agric. Food Chem.*, 1991, **39**, 1701-1704.
- [48] Onyewu P.N., Ho Ch-T., Daun H.: Characterization of β -carotene thermal degradation products in a model food system. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 1986, **63** (11), 1437-1441.
- [49] Oomah B.D., Mazza G.: Flavonoids and antioxidative activities in buckwheat. *J. Agric. Food Chem.*, 1996, **44**, 1746-1750.
- [50] Ostrowska J., Stankiewicz A., Skrzydlewska E.: Antyoksydacyjne właściwości zielonej herbaty. *Brom. Chem. Toksykol.* 2001, **34** (2), 131-140.
- [51] Oszmiański J.: Polifenole jako naturalne przeciwutleniacze w żywności. *Przem. Spoż.*, 1995, **3**, 94-96.
- [52] Oszmiański J., Moutounet M.: Taniny niektórych owoców bogatych w antocyjany. *Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu*, 1995, **273**, 47-55.
- [53] Oszmiański J., Lamer-Zarawska E.: Substancje naturalne w profilaktyce chorób nowotworowych. *Wiad. Ziel.*, 1996, **7-8**, 9-11.
- [54] Pacholek B., Małecka M.: Pestki pomidora – źródło oleju i przeciwutleniaczy. *Tłuszcz. Jad.*, 2001, **36** (1-2), 35-40.
- [55] Panczenko-Kresowska B.: Wolne rodniki a żywienie. *Wiad. Ziel.*, 1997, **10**, 17-18.
- [56] Płatek T., Węgrowski J., Krygier K.: Wpływ procesów rafinacyjnych na stabilność oleju rzepakowego cz.1. Charakterystyka surowców. *Tłuszcz. Jad.*, 1997, **32**, 3-24.
- [57] Rice-Evans C., Miller N. J.: Total antioxidant status in plasma and body fluids. *Meth. Enzymol.*, 1994, **234**, 279-293.
- [58] Rouseff R.L., Nagy S.: Health and nutritional benefits of citrus fruit components. *Food Technol.*, 1994, **11**, 125-132.
- [59] Sandberg A.S., Carlsson N.G., Svanberg U.: Effect of inositol tri-, tetra-, penta-, and hexaphosphates on *in vitro* estimation of iron availability. *J. Food Sci.*, 1989, **54**, 159-161.

- [60] Schwarz K., Ternes W.: Antioxidative constituents of *Rosmarinus officinalis* and *Salvia officinalis*. I. Determination of phenolic diterpenes with antioxidative activity amongst tocopherols using HPLC. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.*, 1992, **195**, 95-98.
- [61] Serafini M., Maiani G., Ferro-Luzzi A.: Alcohol-free red wine enhances plasma antioxidant capacity in humans. *J. Clin. Nutr.*, 1998, **50**, 28-32.
- [62] Slimestad R., Solheim H.: Anthocyanins from black currants (*Ribes nigrum* L.). *J. Agric. Food Chem.*, 2002, **50**, 3228-3231.
- [63] Słomczykowski J.: Sezam – surowiec niedoceniony. Dietetyczne wartości sezamu. *Przegl. Piek.*, 1996, **7**, 20-23.
- [64] Sobkowiak A.: In vino sanitas. *Wiedza i Życie*, 1997, **12**, 22-24.
- [65] Szukalska E.: Procesy oksydacyjne i rola antyoksydantów w technologii tłuszczów. *Mat. II Konf. Nauk. „Żywność a Zdrowie”*, Łódź 1999, s. 42-53.
- [66] Szymusiak H., Oszmiański J., Tyrakowska B.: Trwałe i nietrwałe produkty utleniania flawonoidów. *Mat. II Konf. Nauk. „Żywność a Zdrowie”*, Łódź 1999, s. 83.
- [67] Szymusiak H.: Badania efektywności wybranych przeciwutleniaczy występujących w produktach spożywczych. *Prace habilitacyjne 5*, Wyd. AE, Poznań 2002.
- [68] Takacsova M., Pribela A., Faktorova M.: Study of the antioxidative effects of thyme, sage, juniper and oregano. *Nahrung*, 1995, **39** (3), 241-243.
- [69] Ternes W., Schwarz K.: Antioxidative constituents of *Rosmarinus officinalis* and *Salvia officinalis*. IV. Determination of carnosic acid in different foodstuffs. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.*, 1995, **201**, 548-550.
- [70] Tian L.L., White P.J.: Antioxidant activity of oat extract in soybean and cottonseed oils. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 1994, **70**, 1079-1085.
- [71] Toyama K., Terasawa N., Yamazaki N.: Radical scavenging activity of Japanese black tea. *Food Sci. Technol. Res.*, 2002, **8** (3), 218-220.
- [72] Troszyńska A., Bednarska A., Łatosz A., Kozłowska H.: Polyphenolic compounds in the seed coat of legume seeds. *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, 1997, **6/47**, 37-45.
- [73] Troszyńska A., Honke J., Kozłowska H.: Naturalne substancje nieodżywcze (NSN) pochodzenia roślinnego jako składniki żywności funkcjonalnej. *Post. Fitoter.*, 2000, **2**, 1-4.
- [74] Tuszyński T., Sroka P.: Rezweratrol w winach – występowanie, oddziaływanie i metody oznaczeń. *Przem. Ferm.*, 1999, **5**, 13-17.
- [75] Verhagen J.V., Haenen G.R., Bast A.: Nitric oxide radical scavenging by wines. *J. Agric. Food Chem.*, 1996, **44**, 3733-3734.
- [76] Vinson J.A., Dabbagh Y.A.: Tea phenols: antioxidant effectiveness of teas, tea components, tea fractions and their binding with lipoproteins. *Nutr. Res.*, 1998, **18** (6), 1067-1075.
- [77] Vinson J.A., Dabbagh Y.A., Serry M.N., Jang J.: Plant flavonoids, especially tea flavonols, are powerful antioxidants using an *in vitro* oxidation model for heart disease. *J. Agric. Food Chem.*, 1995, **43**, 2800-2802.
- [78] Vinson J.A., Hontz B.A.: Phenol antioxidant index: comparative antioxidant effectiveness of red and white wines. *J. Agric. Food Chem.*, 1995, **43**, 401-403.
- [79] Visioli F., Borsani L., Galli C.: Diet and prevention of coronary heart disease: the potential role of phytochemicals. *Cardiovasc. Res.*, 2000, **47**, 419-425.
- [80] Wang S.Y., Lin H-S.: Antioxidant activity in fruits and leaves of blackberry, raspberry, and strawberry varies with cultivar and developmental stage. *J. Agric. Food Chem.*, 2000, **48**, 140-146.
- [81] Wang J., Mazza G.: Inhibitory effects of anthocyanins and other phenolic compounds on nitric oxide production in LPS/IFN- γ -activated RAW 264.7 macrophages. *J. Agric. Food Chem.*, 2002, **50**, 850-857.
- [82] Wang S.Y., Stretch A.W.: Antioxidant capacity in cranberry is influenced by cultivar and storage temperature. *J. Agric. Food Chem.*, 2001, **49**, 969-974.

- [83] Watanabe M.: Catechins as antioxidant from buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) groats. J. Agric. Food Chem., 1998, **46**, 839-845.
- [84] Wayner D. D. M., Burton G. W., Ingol K. U., Locke S.: Quantitative measurement of total peroxy radical-trapping antioxidant capacity of human blood plasma by controlled peroxidation. FEBS, 1985, Lett. **187**, 33-37.
- [85] Wilska-Jeszka J.: Struktura i właściwości antyoksydacyjne polifenoli. Materiały II Konf. Nauk. „Żywność a Zdrowie”, Łódź 1999, s. 27-36.
- [86] Wilska-Jeszka J., Łoś J., Pawlak M.: Monomery i oligomery flawanolowe – występowanie i przemiany w owocach. Zesz. Nauk. PŁ Technol. Chem. Spoż., 1990, **47**, 77-89.
- [87] Wilska-Jeszka J., Łoś J., Pawlak M.: Fruits as bioflavonoids sources. Acta Aliment. Pol., 1991, **17** (1), 11-22.
- [88] Wołosiak R., Worobiej E.: Białka fasoli i grochu jako zmiatacze kationorodników ABTS. Mat. II Konf. Nauk. „Żywność a Zdrowie”, Łódź 1999, s. 77.
- [89] Yen G-Ch., Chen H-Y.: Antioxidant activity of various tea extracts in relation to their antimutagenicity. J. Agric. Food Chem., 1995, **43**, 27-32.
- [90] Zadernowski R.: Studia nad związkami fenolowymi mąk rzepakowych i rzepikowych. Acta Acad. Agricult. Techn. Olst. Technologia Alimentorum, 1987, **21F**, 3-55.
- [91] Zadernowski R., Markiewicz K., Sobieski G.: Zmiany zawartości tokoferoli w procesie otrzymywania i rafinacji oleju rzepakowego. Rośliny Oleiste, 1995, **16**, 283-288.
- [92] Zadernowski R., Nowak-Polakowska H., Aleem-Rashed A.: The influence of heat treatment on the activity of lipo- and hydrophilic components of oat grain. J. Food Process. Preserv., 1999, **23** (3), 177-191.
- [93] Zając K. B., Podśędek A.: Skład i właściwości przeciwutleniające wybranych handlowych soków owocowych. Przem. Ferm., 2002, **2**, 14-17.
- [94] Zieliński H.: Low molecular weight antioxidants in the cereal grains – a review. Pol. J. Food Nutr. Sci., 2002, **11/52**, 1, 3-9.
- [95] Zieliński H., Kozłowska H.: Antioxidant activity and total phenolics in selected cereal grains and their different morphological fractions. J. Agric. Food Chem., 2000, **48** (6), 2008-2016.

ANTIOXIDANT PROPERTIES OF PLANT-BASED FOOD PRODUCTS

S u m m a r y

The paper focuses on the antioxidant properties of plant food products, which are very important for the prevention of many diseases. Fruits, vegetables, oil seeds, cereals, herbs, spices, and tea are characterized more precisely. Some processed food products were selected and described owing to their high antioxidant capacity: juices, drinks, wines, plant fats, vegetable and cereal products. Furthermore, there were characterized bioactive substances in plant-based foods that have antioxidant properties; first of all such as polyphenols, vitamins C and E, and carotenoids. The paper also discusses mechanisms of their action on the basis of available references, and correlations between their concentration & qualitative composition, as well as their multidirectional *in vitro* and *in vivo* effects. Those current trends in the food production are highlighted which suggest that synthetic antioxidants can be substituted for natural antioxidants provided from raw plants as their source. In this way, the potential of applying raw plants may be essentially increased.

Key words: antioxidant properties, plant food, bioactive substances 