

DOROTA GUMUL, JAROSŁAW KORUS, BOHDAN ACHREMOWICZ

**WPLYW PROCESÓW PRZETWÓRCZYCH NA AKTYWNOŚĆ  
PRZECIWUTLENIAJĄCĄ SUROWCÓW  
POCHODZENIA ROŚLINNEGO**

Streszczenie

Źródłem związków fenolowych w diecie są owoce, warzywa oraz nasiona roślin strączkowych i ziarna zbóż. Przez wiele lat polifenole uważano za substancje antyodżywcze, a obecnie znaczenie tej grupy związków jako aktywnych składników żywności znacznie wzrosło, ze względu na prowadzone w ostatnich latach badania dotyczące ich prozdrowotnego działania na organizm ludzki. Związki polifenolowe uważane są za przeciwutleniacze pokarmowe, których aktywność jest wielokrotnie większa od aktywności witamin, takich jak A, E i C.

Wpływ procesów przetwórczych na aktywność przeciwutleniającą surowców roślinnych nie jest jednoznaczny, a zmiany aktywności przeciwutleniającej dotyczące danej operacji technologicznej zależą od użytego surowca roślinnego. Do procesów przetwórczych, po których aktywność przeciwutleniająca nie ulega zmianie lub wzrasta należą: krótkotrwała obróbka termiczna, blanszowanie/mrożenie oraz fermentacja alkoholowa.

**Słowa kluczowe:** aktywność przeciwutleniająca, polifenole, procesy przetwórcze

**Wprowadzenie**

Polifenole stanowią największą grupę wśród naturalnych przeciwutleniaczy, bardzo zróżnicowaną pod względem struktury, masy cząsteczkowej oraz właściwości fizykochemicznych i biologicznych. Są to drugorzędowe metabolity rozpowszechnione w świecie roślin, występujące przeważnie w postaci glikozydów i estrów, niesyntetyzowane w organizmach zwierząt. Powstają z metabolitów pierwotnych czyli węglowodanów według dwóch dotychczas poznanych mechanizmów biosyntezy, czyli kwasów: szikimowego i octanowo-malonowego [18]. Źródłem związków fenolowych w diecie są owoce, warzywa oraz nasiona roślin strączkowych i ziarna zbóż. Przez wiele lat polifenole uważano za substancje antyodżywcze i pogarszające barwę produktów, z uwagi na ich łatwość utlenienia się do chinonów i polimeryzacje do

barwnych związków wielkocząsteczkowych. Te same cechy polifenoli, które stanowią podłoże ich negatywnego działania, czyli łatwość wchodzenia w reakcje redoks oraz wychwytywanie wolnych rodników, stanowią podstawę do zakwalifikowania ich do grupy przeciwutleniaczy pokarmowych.

Znaczenie tych związków jako aktywnych składników żywności znacznie wzrosło ze względu na prowadzone w ostatnich latach badania dotyczące ich prozdrowotnego działania na organizm ludzki [4, 10, 12].

Jedną z przyczyn zainteresowania się przeciwutleniaczami pokarmowymi jest fakt rozbieżności pomiędzy badaniami klinicznymi – nie zawsze potwierdzającymi korzystne efekty spożywania witamin przeciwutleniających, a badaniami epidemiologicznymi – wskazującymi na występowanie mniejszej częstotliwości pewnych chorób i mniejszej umieralności, szczególnie na choroby sercowo – naczyniowe i nowotworowe, w populacjach spożywających większe ilości owoców, warzyw i zbóż. Impulsem do zwrócenia uwagi na polifenole była próba wyjaśnienia tzw. paradoksu francuskiego – mimo spożywania przez Francuzów diety stosunkowo bogatej w tłuszcze, głównie nasycone, zaobserwowano relatywnie małą częstotliwość występowania chorób sercowo-naczyniowych, bowiem spożywają oni czerwone wino bogate w polifenole, zwłaszcza z grupy flawonoidów [5].

Pod pojęciem „polifenole” rozumie się kilka grup związków o zróżnicowanej budowie: kwasy hydroksybenzoesowe, kwasy hydroksycynamonowe, stilbeny, flawonoidy (flawonole, flawanony, flawanole, antocyjany, izoflawony) i taniny [17, 18].

### **Aktywność przeciwutleniająca polifenoli**

Wspólną cechą tych związków jest występowanie w ich cząsteczce grup fenolowych, czyli grup -OH powiązanych z węglami pierścienia aromatycznego. Obniżona gęstość elektronowa na atomie tlenu grupy fenolowej powoduje że energia wiązania wodoru jest znacznie mniejsza niż w przypadku grupy -OH występującej w związkach alifatycznych. Związki fenolowe łatwo oddają wodór i przechodzą w semichinony, które ulegają polimeryzacji do związków barwnych. Dzięki zdolności przenoszenia protonów i elektronów związki te nie tylko same ulegają utlenieniu, ale również poprzez chinony powstające w wyniku utlenienia mogą pośredniczyć w utlenieniu związków niereagujących bezpośrednio z tlenem. Efektywność związków polifenolowych zależy w dużej mierze od masy cząsteczkowej i struktury oraz stężenia. Aktywność kwasów fenolowych wzrasta w znacznym stopniu, jeśli zawierają one w cząsteczce dwie grupy hydroksylowe w konfiguracji -orto. Do takich związków o wysokiej aktywności przeciwutleniającej należy np. kwas kawowy, a obecność trzeciej grupy -OH powoduje dalszy wzrost aktywności przeciwutleniającej, jak ma to miejsce np. w cząsteczce kwasu galusowego [18].

W przypadku flawonoidów, czyli polifenoli o większej masie cząsteczkowej, aktywność przeciwutleniająca zależy od lokalizacji podstawników i jest trudniejsza do ustalenia. Hydroksylacja pierścienia B w tych związkach jest głównym czynnikiem wpływającym na wzrost tej aktywności. Istotną rolę odgrywa również grupa karbonylowa przy C-4 (pierścień C) oraz występowanie grup hydroksylowych przy C-3 (pierścień C) i C-5 (pierścień A). Takie usytuowanie podstawników sprzyja tworzeniu trwałych chelatów z metalami, w tym również z jonami miedzi i żelaza. Hamują one w ten sposób zdolność metali ciężkich do katalizowania reakcji utleniania i procesu powstawania wolnych rodników [18].

Polifenole jako przeciwutleniacze w żywności działają w kilku kierunkach: wiążą wolne rodniki, wygaszają tlen singletowy, terminują wolnorodnikowe reakcje łańcuchowe, chelatują metale katalizujące reakcje utlenienia oraz inaktywują enzymy z grupy oksydaz. Wielokierunkowość działania związków fenolowych jako przeciwutleniaczy w żywności sprawia trudności w oszacowaniu potencjału przeciwutleniającego, do oznaczenia którego można zastosować wiele metod. Opracowane metody określania tej aktywności uwzględniają odmienne właściwości przeciwutleniaczy [2]. Określanie aktywności przeciwutleniającej jest związane z użyciem rodnika (TEAC I, TEAC II, TEAC III, TRAP, DMPD) lub z zastosowaniem jonów metali (FRAP).

Oznaczenie aktywności przeciwutleniającej polega na pomiarze zdolności do wygaszenia wolnego rodnika (TEAC II, TEAC III, DMPD i FRAP) lub na pomiarze stopnia inhibicji utleniania (TEAC I, TRAP) [19]. Do sposobów wyrażania aktywności przeciwutleniającej zalicza się: RSA (procentowa zdolność wygaszania wolnego rodnika),  $IC_{50}$  (określa ilość przeciwutleniacza potrzebną do 50-procentowej redukcji badanych rodników), TEAC (stężenie Troloxu odpowiadające aktywności 1 mM badanego przeciwutleniacza). Aktywność przeciwutleniająca polifenoli zależy od: budowy i polarności związku, jego stabilności w środowisku reakcji oraz sposobu wyodrębnienia związków fenolowych z materiału roślinnego [16].

### **Zmiany przeciwutleniaczy podczas obróbki kulinarnej i technologicznej**

Do niedawna uważano, że procesy przetwórcze stosowane w przemyśle spożywczym są przyczyną degradacji naturalnych przeciwutleniaczy i zmniejszania się aktywności przeciwutleniającej żywności. Prowadzone zwłaszcza w ostatnich latach badania dowiodły, że wpływ przetwórstwa na aktywność przeciwutleniającą warzyw i owoców oraz nasion roślin strączkowych i zbóż nie jest jednoznaczny. Zmniejszeniu zawartości naturalnych przeciwutleniaczy w produkcie może towarzyszyć zwiększenie ich aktywności przeciwutleniającej ze względu na łatwiejszą dostępność pozostałych przeciwutleniaczy i tak na przykład rozkład ścian komórkowych pod wpływem ogrzewania lub enzymatycznej hydrolizy zwiększa biodostępność  $\beta$ -karotenu. Natomiast do przyczyn obniżających potencjał przeciwutleniający podczas

przetwarzania surowców roślinnych zalicza się: utlenienie przeciwutleniacza, kompleksowanie z innymi składnikami żywności, modyfikacje enzymatyczne, zwiększony potencjał oksydacyjny środowiska oraz przejście formy przeciwutleniającej w proutleniającą [3].

Obróbka wstępna czyli obieranie, cięcie czy rozdrabnianie obniża potencjał przeciwutleniający materiału roślinnego o 20 do 60% w stosunku do surowca wyjściowego z powodu działania polifenolooksydazy [11]. Podobnie przemiał zbóż powoduje spadek aktywności przeciwutleniającej końcowego produktu [20, 21].

Blanszowanie surowców roślinnych z jednej strony powoduje wymywanie różnych składników, z drugiej wpływa na inaktywację enzymów odpowiedzialnych za utlenianie enzymatyczne występujących w owocach i warzywach naturalnych przeciwutleniaczy. Warzywa i owoce poddane blanszowaniu zachowują w większym stopniu swoją aktywność przeciwutleniającą w trakcie przechowywania niż surowce nieblanszowane [1, 6, 14, 15]. Według Pimia i wsp. [15] aktywność przeciwutleniająca zblanszowanych warzyw (groszek, kalafior, marchew, brokuły i ziemniaki) podczas 6- i 12-miesięcznego przechowywania nie uległa zasadniczym zmianom i w większości przypadków była na stałym poziomie. Ponadto zaobserwowano 10-procentowy wzrost potencjału przeciwutleniającego zblanszowanej marchwi i ziemniaków niezależnie od czasu przechowywania.

W przypadku karotenoidów, a zwłaszcza likopenu i  $\beta$ -karotenu, nawet wysokotemperaturowe procesy, jak sterylizacja czy gotowanie, nie powodują dużych strat tych składników, a w związku z tym obniżenia związanej z ich obecnością aktywności przeciwutleniającej. Wysoka termostabilność naturalnych przeciwutleniaczy nie jest jednak cechą często spotykaną. Większość związków zaliczanych do tej grupy wykazuje wysoki stopień labilności i małą odporność na czynniki środowiska, dlatego procesy przetwórcze powodują znaczne straty naturalnych przeciwutleniaczy. Na przykład kwas askorbinowy ulega stosunkowo łatwo utlenieniu pod wpływem działania enzymów lub tlenu oraz termicznemu rozkładowi w takich procesach, jak: blanszowanie, gotowanie, pasteryzacja, sterylizacja, suszenie lub mrożenie. Ponadto zmniejszenie zawartości kwasu askorbinowego i polifenoli w warzywach i owocach poddanych działaniu ciepła może wynikać z ich udziału w różnych reakcjach. Alternatywą dla żywności przetworzonej może być spożywanie surowych owoców i warzyw, jednak takie operacje jak obieranie i rozdrabnianie, jak już wcześniej wspomniano, mogą być przyczyną strat naturalnych przeciwutleniaczy (kwasu askorbinowego, polifenoli) spowodowanych rozkładem enzymatycznym lub dostępem tlenu [14].

Istotnym czynnikiem jest także środowisko. Na przykład ogrzewanie produktów roślinnych w wodzie powoduje stosunkowo szybkie przenikanie ciepła do wnętrza tkanek, co z kolei jest przyczyną dłuższego wyeksponowania na ten czynnik całej objętości przetwarzanego produktu i dużych strat przeciwutleniaczy.

Podczas ogrzewania w powietrzu wewnątrz produktu ma temperaturę niższą niż powierzchnia, co powoduje mniejsze straty przeciwutleniaczy, dlatego też zalecane jest gotowanie surowców roślinnych w parze. Ismail i wsp. [7], badając wpływ krótkotrwałej obróbki termicznej na potencjał przeciwutleniający szpinaku oraz kapusty, stwierdzili, że aktywność obniżała się o około 10%. Według Jeonga i wsp. [8] ogrzewanie skórek cytrynowych powodowało wzrost aktywności przeciwutleniającej, proporcjonalny do temperatury i czasu trwania procesu. Skórki ogrzewane w temp. 150°C przez 1 godz. wykazywały kilkakrotnie wyższą aktywność przeciwutleniającą w porównaniu ze skórkami naturalnymi. Natomiast już po 30 min ogrzewania w temp. 150°C stwierdzono pojawienie się nowych związków o charakterze przeciwutleniającym, np. kwasu ferulowego i wanilinowego. Jiratanan i Liu [9] poddali typowym zabiegom przetwórczym, stosowanym w przemyśle, buraki i nasiona fasoli. W przypadku buraków zanotowali 8-procentową stratę witaminy C, 5-procentowy wzrost zawartości polifenoli i aktywność przeciwutleniającą na niezmiennym poziomie. Natomiast w przypadku fasoli aktywność przeciwutleniająca zmniejszyła się o 20%, zawartość witaminy C pozostała na niezmiennym poziomie, a zawartość polifenoli zmalała o 32%. Według Grajka [3], korzystny wpływ krótkotrwałej obróbki termicznej jest spowodowany: usunięciem tlenu, zdenaturowaniem enzymów z grupy oksydoreduktaz oraz przejściem przeciwutleniacza w formę bardziej aktywnej (aglikon).

Wpływ procesu hydrotermicznego na ilość polifenoli oraz na aktywność materiału roślinnego zależy od surowca roślinnego. Zieliński wraz z zespołem [22] zaobserwowali 5-krotny wzrost zawartości dominującego kwasu ferulowego w surowcu zbożowym po procesie ekstruzji. Termiczna obróbka jęczmienia i owsa wyraźnie obniżyła aktywność ekstraktów uzyskanych przy użyciu roztworu buforowego, do eliminowania SOD (dysmutazy nadadtlenkowej). Z kolei analiza przy zastosowaniu wolnego rodnika ABTS wykazała nieznacznie większą aktywność przeciwutleniającą ekstraktów z ekstraktów zbożowych w porównaniu z materiałem wyjściowym [23].

Smażenie w tłuszczu, oprócz działania temperatury, powoduje dodatkowo straty związków przeciwutleniających na skutek ich reakcji z powstającymi podczas rozkładu tłuszczu wolnymi rodnikami [3].

Nebesny i Budryn [13] badały wpływ sposobu palenia kawy na zachowanie aktywności przeciwutleniającej, stosując ogrzewanie konwencjonalne i mikrofalowe. Zarówno pod względem aktywności przeciwutleniającej, jak i zdolności wiązania wolnych rodników oba sposoby ogrzewania powodowały obniżenie tych cech. W obu przypadkach ogrzewanie mikrofalowe powodowało mniejsze straty aktywności przeciwutleniającej i zdolności wiązania wolnych rodników niż ogrzewanie konwencjonalne, co było spowodowane mniejszymi ubytkami przeciwutleniaczy.

W technologii soków zmniejszenie pojemności przeciwutleniającej związane jest z oddzieleniem części nierozpuszczalnych w wodzie od soku komórkowego, rozcieńczeniem soków, klarowaniem i długotrwałym przechowywaniem. Wartość TEAC soku z czarnej porzeczki wynosi 6,8-12  $\mu\text{moli Tx/g}$ , a surowca wyjściowego – czarnej porzeczki 24,6-39,1  $\mu\text{moli Tx/g}$ . Jest to związane z zawartością moszczu macierzystego w soku, który wynosi około 40%, czego konsekwencją jest tak duże obniżenie pojemności przeciwutleniającej soków z czarnej porzeczki. Natomiast fermentacja alkoholowa stosunkowo dobrze stabilizuje potencjał przeciwutleniający surowców roślinnych, co wynika z niskiego potencjału redoks, jaki występuje podczas fermentacji beztlenowej moszczów [5].

Nie tylko przetwarzanie, ale również długotrwałe przechowywanie surowców roślinnych wzmacnia procesy enzymatycznego lub chemicznego utleniania składników polifenolowych, a stopień tych zmian zależy od rodzaju surowca lub od czynników samego środowiska, np. temperatury, pH, aktywności wody, czasu, ilości tlenu. Stwierdzono na przykład, że utlenianie enzymatyczne powoduje znacznie większe obniżenie aktywności przeciwutleniającej niż utlenianie chemiczne, a z kolei podczas utleniania chemicznego polifenoli duży wpływ na ich aktywność ma temperatura [14].

Z kolei częściowe utlenienie polifenoli może skutkować ich zwiększoną zdolnością wiązania wolnych rodników w porównaniu z polifenolami nieutlenionymi. Zjawisko takie obserwowano np. w przypadku katechiny poddanej enzymatycznemu utlenianiu, jednak większy stopień utlenienia powodował utratę aktywności przeciwutleniających. Zwiększenie zdolności wiązania wolnych rodników przez częściowo utlenione polifenole można wytłumaczyć ich większą zdolnością uwalniania atomu wodoru grupy hydroksylowej przy pierścieniu aromatycznym i/lub zwiększonymi możliwościami utrzymywania przez pierścień aromatyczny niesparowanych elektronów poprzez delokalizację w powłoce  $\pi$  [14].

Składniki żywności o charakterze przeciwutleniającym mogą także reagować ze sobą, co prowadzi do trudnych do przewidzenia zmian aktywności przeciwutleniającej, a stosowane procesy przetwórcze mogą dodatkowo wpływać na kształt tych zmian. Związane jest to głównie z reakcjami redoks pomiędzy przeciwutleniaczami lub przeciwutleniaczami i produktami utleniania tłuszczów. Zauważono np. że po dodaniu niewielkiej ilości oliwy do puree pomidorowego, w ciągu kilku godzin znacznemu obniżeniu ulegała zawartość kwasu askorbinowego. Spowodowane to było reakcją wygaszania przez ten składnik rodnikowych form  $\alpha$ -tokoferolu znajdujących się w oliwie [14].

## Podsumowanie

Źródłem związków fenolowych w diecie są owoce, warzywa oraz nasiona roślin strączkowych i ziarna zbóż. Przez wiele lat polifenole uważano za substancje antyodżywcze, a obecnie znaczenie tej grupy związków jako aktywnych składników

żywności znacznie wzrosło, ze względu na prowadzone w ostatnich latach badania dotyczące ich prozdrowotnego działania na organizm ludzki.

Wpływ procesów przetwórczych na aktywność przeciwutleniającą surowców roślinnych nie jest jednoznaczny, a zmiany aktywności przeciwutleniającej dotyczące danej operacji technologicznej zależą od użytego surowca roślinnego. Do procesów przetwórczych, po których aktywność przeciwutleniająca nie ulega zmianie lub wzrasta należą: krótkotrwała obróbka termiczna, blanszowanie/mrożenie oraz fermentacja alkoholowa.

### Literatura

- [1] Chu Y.H., Chang C.L., Hsu H.F.: Flavonoid content of several vegetables and their antioxidant activity. *J. Sci. Food Agric.*, 2000, **80**, 561-566.
- [2] Frankel E. N., Meyer A.S.: The problems of using one-dimensional methods to evaluate multifunctional food and biological antioxidant. *J. Sci. Food Agric.*, 2000, **80**, 1925-1941.
- [3] Grajek W.: Zmiany potencjału przeciwutleniającego surowców roślinnych w procesach przetwórczych i w czasie trawienia. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2003, **4 (37)**, 26-35.
- [4] Hirvonen T., Pietinen P., Virtanen M., Ovaskainen M.L., Hakkinen S., Albanes D., Virtamo J.: Intake of flavonols and risk of coronary heart disease in male smokers. *Epidemiology*, 2001, **12 (1)**, 62-67.
- [5] Horubała A.: Pojemność przeciwutleniająca i jej zmiany w procesach przetwarzania owoców i warzyw. *Przem. Ferm. Owoc.-Warz.*, 1999, **3**, 30-32.
- [6] Hunter K.J., Fletcher J.M.: The antioxidant activity and composition of fresh, frozen, jarred and canned vegetables. *Innovative Food Sci. Emerging Technol.*, 2002, **3**, 399-406.
- [7] Ismail A., Zamaliah M. Z., Foong W.C.: Total antioxidant activity and phenolic content in selected vegetables. *Food Chem.*, 2004, **87**, 581-586.
- [8] Jeong S.M., Kim S.Y., Kim D.R., Jo S.C., Nam K.C., Ahn D.U., Lee S.C.: Effect of heat treatment on the antioxidant activity of extracts from citrus peels. *J. Agric. Food Chem.*, 2004, **52**, 3389-3393.
- [9] Jiratanan T., Liu R.H.: Antioxidant activity of processed table beets (*Beta vulgaris* var. *conditiva*) and green beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *J. Agric. Food Chem.*, 2004, **52**, 2659-2670.
- [10] Law M.R., Morris J.K.: By how much does fruit and vegetable consumption reduce the risk of ischaemic heart disease? *Eur. J. Clin. Nutr.*, 1998, **52 (8)** 549-556.
- [11] McCarthy M.A., Mathews R.H.: Nutritional quality of fruits and vegetables subjected to minimal process. In: *Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables* (Ed. by R. C. Wiley), New York 1994.
- [12] Mitek M., Kalisz S.: Współczesne poglądy na właściwości przeciwutleniające soków owocowych i warzywnych. *Przem. Spoż.*, 2003, **5**, 37-40.
- [13] Nebesny E., Budryn G.: Antioxidative activity of green and roasted coffee beans as influenced by convection and microwave roasting methods and content of certain compounds. *Eur. Food Res. Technol.*, 2003, **217**, 157-163.
- [14] Nicoli M.C., Anese M., Parpinel M.: Influence of processing on the antioxidant properties of fruit and vegetables. *Trends Food Sci. Technol.*, 1999, **10**, 94-100.
- [15] Puupponen-Pimia R., Hakkinen S., Marjukka A., Suortii T., Lampi A., Euroola M., Pironen V., Nuutila A., Oksman-Caldentey K.: Blanching and long-term freezing affect various bioactive compounds of vegetables in different ways. *J. Sci. Food Agric.*, 2003., **83**, 1389-1402.
- [16] Rice-Evans C. A., Miller N.J., Paganga G.: Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acid. *Free Radic. Biol. Med.*, 1996., **20**, 933-956.

- [17] Rice-Evans C.A., Miller N.J., Paganga G.: Antioxidant properties of phenolic compounds. Trends in Plant Science 1997, **2** (4), 152-159.
- [18] Rosicka-Kaczmarek J.: Polifenole jako naturalne antyoksydanty w żywności. Przegl. Piek. Cuk., 2004, **6**, 12-16.
- [19] Schliesier K., Harwat., Bohm V., Bitsch R.: Assessment of antioxidant activity by using different *in vitro* methods. Free Radical Res. 2002, **36** (2), 177-187.
- [20] Slavin J.L., Martini M.C., Jacobs D. R., Marquart L.: Plausible mechanism of protectiveness of whole grains. Am. J. Clin. Nutr. 1999, **70**, 459S-463S.
- [21] Wołoch R., Pisulewski P.: Wpływ procesów technologicznych na właściwości antyoksydacyjne ziarna nieoplewionych i oplewionych form jęczmienia i owsa. Żywność. Nauka. Technologia. Jakość, 2003, **2** (35), 42-49.
- [22] Zieliński H., Kozłowska H., Lewczuk B.: Bioactive compounds in the cereal grains before and after hydrothermal processing. Innovative Food Sci. Emerg. Technol., 2001, **2**, 159-169.
- [23] Zieliński H., Kozłowska H.: Superoxide scavenging activity of cereal grains before and after hydrothermal processing. Pol. J. Food Nutr. Sci., 2000, **9/50**, 85-90.

#### THE EFFECT OF PROCESSING OPERATIONS ON THE ANTIOXIDANT ACTIVITY OF PLANT RAW MATERIALS

##### S u m m a r y

The main source of phenolic compounds in our diet are fruits, vegetables, seeds of leguminosae, and cereal grains. For many years, polyphenols have been treated as anti-nutrient substances, but, now, the importance of these components as active food ingredients has increased as a result of investigations conducted during the recent years and referring to the pro-health effect of those plant raw materials on human organism. Polyphenols are regarded food antioxidants the activity of which is by several times higher than of vitamins A, E, and C.

The effect of processing operations on the antioxidant activity of plant raw material is not clear-cut, and changes in their antioxidant activity referring to a given technological process depend on the plant raw material applied. There are several processing operations after which the antioxidant activity does not change or gets increased; they include: short thermal treatment, blanching/freezing, and alcoholic fermentation.

**Key words:** antioxidant activity, polyphenols, processing operations ☒