

Działania biologiczne wybranych związków fenolowych

Piotr Hanczakowski

*Zakład Żywienia Zwierząt, Instytut Zootechniki
32-083 Balice*

Słowa kluczowe: kwasy fenolowe, taniny, flawonoidy, działanie fizjologiczne

Wstęp

Związki fenolowe, popularne w świecie roślinnym należą do tzw. metabolitów wtórnych. Termin ten wprowadzony został ponad sto lat temu przez Kossela [14] i oznacza substancje, które nie występują we wszystkich komórkach i nie są niezbędne do życia rośliny. Początkowo metabolity wtórne uważane były za produkty odpadowe przemiany materii składowane w pewnych częściach roślin, jako że rośliny wyższe nie mają wykształconego systemu wydalniczego. Dopiero niedawno zauważono [27], że mogą one odgrywać ważną rolę w kontaktach roślin z ich otoczeniem, stanowiąc obronę przed infekcjami i zwierzętami roślinożernymi. W ślad za tym zmieniały się również poglądy na rolę związków fenolowych wytwarzanych przez rośliny. O ile we wcześniejszych publikacjach omawiano je głównie jako substancje antyodżywcze [8, 10], to nowe badania podkreślają również ich prozdrowotne działanie, zwłaszcza jako przeciwutleniaczy, czynników bakteriobójczych, obniżających poziom cholesterolu, a także zapobiegających powstawaniu nowotworów [7, 13, 31].

Związki fenolowe to grupa bardzo zróżnicowana, od substancji najprostszych, tj. fenolu (C_6H_5OH), od którego grupa bierze nazwę, do spolimeryzowanych struktur, takich jak taniny. Ich charakterystyczną cechą jest obecność pierścienia aromatycznego powiązanego z grupą hydroksylową. Do tak zdefiniowanych związków fenolowych należą zarówno substancje o prostej budowie, np. aminokwasy aromatyczne (tyrozyna i jej pochodne) i fenolokwasy od najprostszego kwasu hydroksybenzoesowego do bardziej skomplikowanych, jak np. kwas chlorogenowy. Związki złożone to m.in. taniny i flawonoidy. Z chemicznego punktu widzenia można też do nich zaliczyć witaminę E,

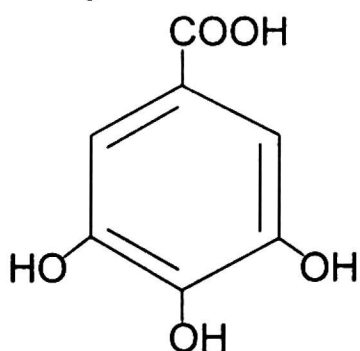
czyli tokoferole. W literaturze żywieniowej pod określeniem „związki fenolowe” rozumie się przede wszystkim taniny i flawonoidy, a także kwasy fenolowe.

Celem tego opracowania jest pokazanie, w zakresie, na jaki pozwalają ramy jednego artykułu, zróżnicowanego działania związków fenolowych. W powszechnym rozumieniu uważa się fenole za związki toksyczne, co jest najprawdopodobniej związane z silnym działaniem fenolu, znanego środka odkażającego. Jednak oprócz działania szkodliwego, głównie obniżania strawności niezbędnych składników pokarmowych, związki fenolowe mogą mieć korzystne działanie na szereg funkcji organizmu.

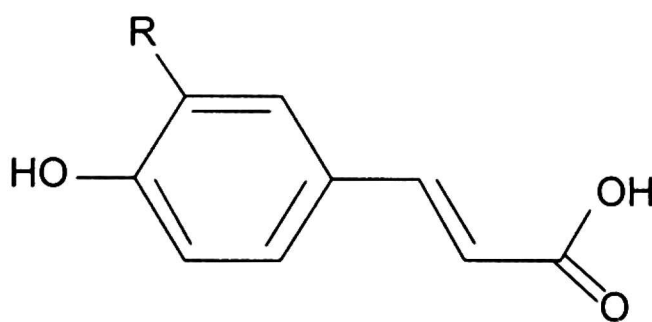
Proste kwasy fenolowe

Proste kwasy fenolowe, np. szeroko rozpowszechniony w roślinach kwas gallusowy czy kwas kawowy, wchodzą w reakcje z enzymami rozkładającymi białka lub złożone węglowodany, a więc stanowiącymi pierwsze ogniwo w przemianach pokarmów spożytych przez zwierzęta lub człowieka.

Wzory kwasów fenolowych:



Kwas gallusowy



R = OH kwas kawowy; R = OCH₃ kwas ferulowy

W badaniach nad oddziaływaniem kwasów fenolowych na amylazę [23] stwierdzono zmiany takich właściwości fizykochemicznych enzymu, jak rozpuszczalność, ciężar cząsteczkowy, struktura drugo- i trzeciorzędowa. Towarzyszył temu znaczny spadek jego aktywności. O ile w wypadku nie zmienionego enzymu aktywność wynosiła 114, to po działaniu kwasu kawowego zmalała do 80, a gallusowego do 76 jednostek na mg. W tych samych badaniach Rohn i in. [23] wykazali, że trypsyna reagowała z kwasami fenolowymi podobnie jak amylaza, a jej aktywność obniżyła się z wyjściowego poziomu około 11200 jednostek na mg do 6250 jednostek w wypadku kwasu kawowego i 6500 jednostek na mg w wypadku kwasu gallusowego. Wpływ związku fenolowego zależy również od substratu, na który działa enzym. Opisane zmiany odnosiły się do hydrolizy stosunkowo prostego peptydu. W wypadku hydrolizy białek mleka przez trypsynę hamujące działanie kwasu kawowego było znacznie silniejsze niż gallusowego. W konkluzji autorzy stwierdzają, że silniejsze oddziaływanie na amylazę i trypsynę mają związki fenolowe mogące utleniać się do chinonów, niż te, które tej możliwości nie mają (np. kwas ferulowy, pochodna kwasu kawowego). Wpływ kwasów fenolowych wzrasta, a więc aktywność enzymów które blokują spada wraz ze wzrostem pH [24]. Reakcje z białkiem są zależne także od struktury nawet bardzo pro-

stych związków fenolowych, np. orto- i parahydroksyfenole inaczej reagują z mioglobina niż metahydroksyfenol [17].

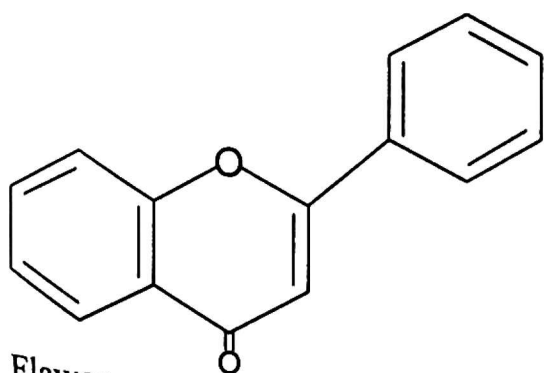
Obniżenie aktywności enzymów proteo- i amylolitycznych może oczywiście zmniejszać wykorzystanie paszy i przyrostów zwierząt otrzymujących w pokarmie związki fenolowe. Jednakże Kamal-Eldin i in. [12] w czterotygodniowym doświadczeniu na szczurach nie stwierdzili ani obniżenia spożycia paszy, ani przyrostów szczurów, którym podawano w paszy $4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ kwasu ferulowego lub kurkuminy, składającej się z dwóch cząsteczek kwasu ferulowego. Równocześnie oba te związki obniżały poziom cholesterolu we krwi, zwłaszcza jego „złej” frakcji – LDL.

Ze zdrowotnego punktu widzenia korzystne jest działanie antyoksydacyjne kwasów fenolowych, które w pewnym sensie rekompensuje ich aktywność antyproteolityczną. Pod tym względem kwasy fenolowe odznaczają się również wysoką aktywnością. Kim i in. [13] proponują określać aktywność antyoksydacyjną związków fenolowych jako ekwiwalent witaminy C, która jest jednym z głównych przeciwutleniaczy zawartych w codziennych pokarmach. W ich badaniach aktywność antyoksydacyjna układała się w malejącym porządku: kwas gallusowy > kwercetyna > epikatechina > katechina > witamina C > kwas chlorogenowy (związek składający się z cząsteczki kwasu kawowego i cząsteczki kwasu chinowego). Trzeba wspomnieć, że pod względem budowy chemicznej witamina C nie jest związkiem fenolowym, łączy ją z nimi tylko fizjologiczne działanie przeciwutleniające.

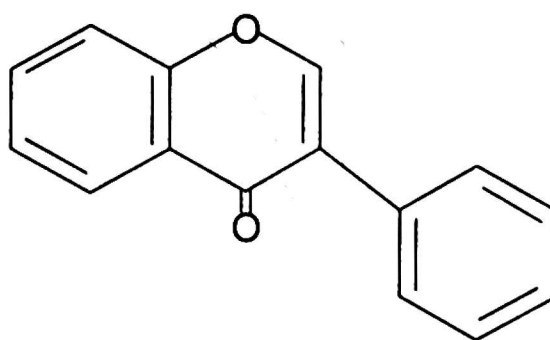
Z drugiej strony oba te związki (kwas gallusowy i witamina C) mogą mieć również działanie szkodliwe: witamina C w większych dawkach może niszczyć DNA, prowadząc w hodowlach tkankowych do śmierci komórek, najprawdopodobniej skutkiem produkcji H_2O_2 w obecności tlenu i jonów metali, np. miedzi [35]. Również kwas gallusowy może działać jako prooksydant powodujący śmierć komórek [25]. Wyniki badań Yena i in. [33] sugerują, że prooksydacyjne działanie kwasów askorbinowego (witaminy C) i gallusowego przy ich niskim stężeniu może być wynikiem redukcji przez nie jonów Fe^{3+} do Fe^{2+} , co stymuluje powstawanie grup OH.

Aktywność antyoksydacyjna prostych związków fenolowych zależy nie tylko od grup związanych bezpośrednio z pierścieniem aromatycznym, ale także od zmian w grupach połączonych z łańcuchami bocznymi. W wypadku kwasu ferulowego zestryfikowanie grupy karboksylowej (COOH) kończącej łańcuch boczny lub zredukowanie jej do grupy aldehydowej (CHO) powoduje spadek aktywności antyoksydacyjnej [20].

Flawonoidy i związki pokrewne



Flawony



Izoflawony

Spośród obszernej grupy związków fenolowych najwięcej uwagi poświęca się obecnie flawonoidom. Są to związki o stosunkowo niskim ciężarze cząsteczkowym, których podstawą jest flawan. Flawonoidy są szeroko rozpowszechnione, występują w liściach, nasionach, korze i kwiatach. Do dziś zidentyfikowano ponad 4000 tych związków [9]. Ich prozdrowotne działanie wiąże się głównie z aktywnością antyoksydacyjną. Znany jest fakt stosunkowo niskiej zapadalności na choroby układu krążenia mieszkańców basenu Morza Śródziemnego. Zjawisko to wiąże się na ogół z wysokim spożyciem tłuszczów roślinnych zawierających dużo nienasyconych kwasów tłuszczowych, w wypadku najpopularniejszego tłuszczu – oliwy, kwasu oleinowego [16]. W świetle nowszych badań rola nienasyconych kwasów tłuszczowych, z wyjątkiem długołańcuchowych, wielonienasyconych kwasów obecnych w olejach rybnych może być mniejsza [21]. Podkreśla się natomiast znaczenie zawartych w oliwie związków fenolowych [29]. Polega ono głównie na zapobieganiu przez nie utlenianiu lipoprotein o niskiej gęstości – LDL [6], które odgrywa znaczną rolę w rozwoju miażdżycy [32]. Korzystny wpływ oliwy i jej głównego biofenolu – oleuropeiny na szereg wskaźników fizjologicznych stwierdzili Coni i in. [4]. Podawali oni królikom dawkę standardową, tę samą dawkę z dodatkiem 10% najwyższej jakości oliwy, a do dawki trzeciej oprócz oliwy dodano oleuropeinę w ilości 7 mg na kg dawki. Nie było żadnych różnic w spożyciu paszy ani w przyrostach zwierząt, natomiast poziom witaminy E w surowicy krwi zwierząt z grupy drugiej i trzeciej był dwukrotnie wyższy niż tych z grupy kontrolnej. Ponieważ zawartość tej witaminy we wszystkich trzech dawkach była taka sama, autorzy tłumaczą to zjawisko tym, że zwiększona ilość nienasyconych kwasów tłuszczowych dostarczonych w oliwie powodowała uruchomienie z rezerw dodatkowej ilości witaminy E, mającej chronić wzbogacone w te kwasy lipoproteiny przed utlenieniem. Witamina E była jednak chroniona przez pochodzące z oliwy biofenole. Spadek zawartej we krwi królików doświadczalnych witaminy C o 30–40% w stosunku do grupy kontrolnej, autorzy tłumaczą z kolei obniżeniem metabolicznej produkcji tej rozpuszczalnej w wodzie witaminy, skutkiem obecności innych, również rozpuszczalnych w wodzie przeciwutleniaczy. Dodatek oleuropeiny spowodował znaczny spadek zawartości cholesterolu we krwi w porównaniu do grupy z samą oliwą i wzrost odporności lipoprotein o niskiej gęstości na utlenianie jonami miedzi.

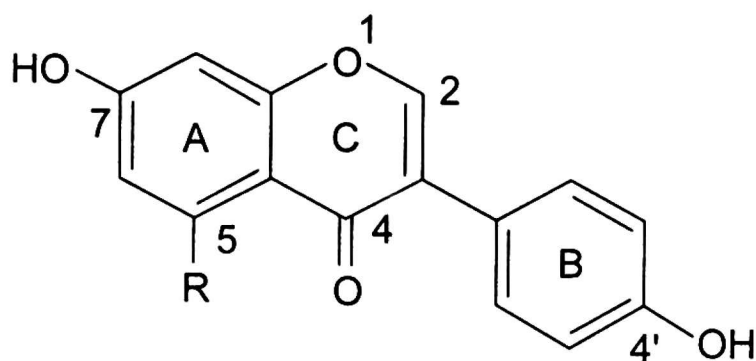
Jak widać, biofenole zawarte w oliwie mają szeroki zakres oddziaływania, zdaniem autorów wciąż do końca nie rozpoznany. Zapobiegają utlenianiu lipoprotein o niskiej gęstości, a tym samym chorobom układu krążenia, również obecne w herbacie i kakao flawonoidy z grupy katechin. Ocenia się, że do wywołania efektu fizjologicznego wystarczy dawka około 150 mg flawonoidu [15]. Taka ilość zawarta jest w dużej filiżance prawidłowo parzonej herbaty (235 ml = około 170 mg flawonoidów). Podobne działanie stwierdzono podając szczurom flawonoidy, głównie z grupy katechin i antocjanów w wysuszonym czerwonym winie [7]. Z 1 litra wina otrzymywano 2 g proszku zawierającego $0,98 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ związków fenolowych. Chroniły one przed utlenieniem lipoproteiny o niskiej i bardzo niskiej gęstości oraz wielonienasycone kwasy tłuszczowe

w surowicy i w błonach. Zmniejszyły też straty witaminy E i endogennych przeciwutleniaczy. Synergistyczne działanie witaminy E i polifenoli oraz zdolność tych ostatnich do regeneracji tej witaminy stwierdzili również w modelowych badaniach *in vitro* Pedrelli i Skilsted [22].

Zawarte w oliwie polifenole przeciwdziałają powstawaniu w czasie gotowania ryb i mięsa rakotwórczych amin heterocyklicznych [19]. Dotyczy to zwłaszcza świeżej oliwy. Świeża oliwa obniżała ilość powstających amin o 30–50%. Po upływie roku jej aktywność spadała o 25%.

Jedną z głównych roślin paszowych stosowanych w Europie jako źródło białka jest soja, w Azji i w Stanach Zjednoczonych stanowiąca również znaczącą część pożywienia ludzi. Zawiera ona flawonoidy z grupy izoflawonów – genisteinę i diazeinę od 0,4 do 3,0 mg w gramie suchej masy. Ilość ta zależy od szeregu czynników: odmiany rośliny, warunków glebowych i klimatycznych, nawożenia i innych [30]. Izoflawony obecne są w wielu roślinach, włączając w to owoce i jarzyny, jednak rośliny motylkowate są ich szczególnie obfitym źródłem. Poza soją występują one również w nasionach fasoli, a także zielonce koniczyny i lucerny [2]. Rośliny strączkowe są na całym świecie jednym z podstawowych surowców do produkcji pasz i produktów spożywczych, stąd duże praktyczne znaczenie tych badań.

Izoflawony soi



R = OH genisteina; R = H diazeina

Izoflawony mają różnorodne, przeważnie pozytywne działanie biologiczne. Mogą, między innymi, obniżyć zawartość trójglicerydów we krwi. Trójglicerydy, niezależnie od cholesterolu stanowią jedną z przyczyn choroby wieńcowej, mamy więc w tym wypadku do czynienia z ważnym działaniem prozdrowotnym. Demonty i in. [5] podawali szczurom izolat sojowy, kazeinę oraz kazeinę z dodatkiem izoflawonów, odpowiadającym ich zawartości w izolacie (1,82 mg syntetycznej genisteriny i diazeiny na 1 g białka). Dodatek izoflawonów obniżył zawartość trójglicerydów w surowicy krwi szczurów otrzymujących kazeinę do poziomu soi, jednak znacznemu obniżeniu uległy także przyrosty zwierząt.

Znane jest również przeciwnowotworowe działanie izoflawonów. Ze względu na strukturalne podobieństwo do hormonów, a także ich działanie fizjologiczne, tę grupę związków określa się mianem fitoestrogenów. Są one szczególnie aktywne w przeciwdziałaniu nowotworom zależnym od hormonów – rakowi piersi, prostaty i płuc [1].

Mechanizm działania fitoestrogenów nie jest dokładnie poznany, mają one wpływ na apoptozę oraz wzrost i różnicowanie komórek. Genisteina najprawdopodobniej może blokować rozwój nowych naczyń krwionośnych, niezbędnych do wzrostu nowotworów [36]. Według Wanga i in. [31] oba zawarte w soi izoflawony hamują rozwój melanomy (raka skóry) i najprawdopodobniej mogłyby być stosowane w terapii tej choroby.

Zarówno genisteina, jak i diazeina występują w nasionach soi jako glikozydy. Według Setchella i in. [26] fenole mogą być wchłaniane z przewodu pokarmowego dopiero po hydrolizie glikozydów przez mikroflorę jelit. Inne badania, przeprowadzone na szczurach pozbawionych mikroflory [3] wskazują jednak, że bakterie nie są niezbędne do wchłaniania genisteiny i diazeiny, biorą natomiast udział w przekształcaniu ich do związków pochodnych. Ze swej strony również flawonoidy wpływają w znacznym stopniu na florę bakteryjną, zwłaszcza końcowych odcinków przewodu pokarmowego [11].

Obecnie najwięcej uwagi skupia się na działaniu przeciwutleniającym i przeciwnowotworowym, jednym słowem – prozdrowotnym, związków fenolowych. Gdyby jednak ktoś chciał wykorzystać takie dane w praktyce żywieniowej, należy pamiętać o zachowaniu ostrożności, w przeciwnym razie grozi nam obniżenie przyswajania niezbędnych składników pożywienia, spadek wyników produkcyjnych w wypadku zwierząt gospodarskich i niedyspozycje, zwłaszcza pokarmowe gdybyśmy eksperymentowali na sobie.

Taniny

Nazwa „taniny” wprowadzona pod koniec XVII wieku pochodzi od łacińskiej formy celtyckiego wyrazu oznaczającego dąb. Stosowano ją pierwotnie do substancji mających zdolność garbowania skór zwierzęcych, stąd polski termin „garbniki”.

Taniny dzieli się na dwie grupy różniące się budową i właściwościami, stąd trudno o precyzyjną definicję. Określa się je zazwyczaj jako związki pochodzenia roślinnego o wysokim ciężarze cząsteczkowym (500–3000 D) i zawierające dużą ilość fenolowych grup hydroksylowych (1–2 na 100 jednostek ciężaru cząsteczkowego) co umożliwia im tworzenie kompleksowych połączeń z białkami i innymi związkami wielkocząsteczkowymi.

Dwie grupy tych związków to taniny hydrolizujące i nie hydrolizujące czyli skondensowane. Pierwsze zawierają cukier, najczęściej glukozę, którego grupy hydroksylowe są częściowo lub całkowicie zestryfikowane prostymi kwasami fenolowymi, najczęściej gallusowym. W taninach skondensowanych cząsteczki poszczególnych oligomerów (flawonoidów) są połączone wiązaniami pomiędzy węglami, bardziej stabilnymi niż wiązania estrowe tanin hydrolizujących. Taniny skondensowane są bardziej rozpowszechnione w świecie roślinnym niż hydrolizujące.

W ostatnich latach taninom nie poświęca się w literaturze żywieniowej wiele uwagi. Ich antyodżywcze działanie polegające na tworzeniu kompleksów z białkami zawartymi w paszach a także z enzymami, zostało opisane w żywieniu świń [28] i drobiu [18]. Niedawno Zduńczyk i in. [34] porównywali aktywność biologiczną polifenoli ekstrahowanych z różnych roślin: flawonów, katechin z zielonej herbaty, antocjanów i tanin skondensowanych z bobiku. W doświadczeniu na szczurach stwierdzili, że antocjany i taniny najsilniej obniżały strawność i współczynnik wydajności wzrostowej (PER) białka. W przeciwieństwie do katechin z zielonej herbaty nie obniżały one w stopniu statystycznie istotnym zawartości cholesterolu we krwi ani jego „złej” frakcji (LDL), choć tendencje do spadku poziomu tego związku dały się zauważyć. Równocześnie autorzy nie stwierdzili przewidywanej ochrony przed aktywnymi formami tlenu. W konkluzji autorzy dochodzą do wniosku, że uzyskanie pozytywnych wyników (np. obniżenia cholesterolu) przy pomocy polifenolowych ekstraktów roślinnych bez równoczesnego obniżenia wartości pokarmowej białka jest bardzo trudne.

Ludzie chętnie spożywają napoje zawierające znaczne ilości tanin nadających cierpki smak herbacie czy czerwonemu winu (zawartość polifenoli w zielonej herbacie wynosi 30–50% jej suchej masy). Ich korzystnemu działaniu poświęca się obecnie wiele uwagi.

Podsumowanie

Związki fenolowe popularne w świecie roślinnym mogą mieć antyodżywcze lub prozdrowotne działanie. Proste kwasy fenolowe, np. kwas kawowy lub gallusowy hamują aktywność enzymów proteolitycznych i amylolitycznych. Prozdrowotne działanie kwasów fenolowych polega na ich aktywności antyoksydacyjnej. Taniny hydrolizujące dają po rozkładzie cząsteczkę cukru i kwas fenolowy. Inny rodzaj tanin – taniny skondensowane, częściej występujące w roślinach, składają się z cząsteczek flawonoidów. Taniny łączą się z białkami tworząc niestrawne kompleksy. Flawonoidy to związki zbliżone strukturalnie do hormonów, mogące powodować zaburzenia w rozrodzie. Flawonoidy działają jako przeciwutleniacze, obniżają poziom cholesterolu i trójglicerydów we krwi i zapobiegają powstawaniu pewnych rodzajów nowotworów. W sumie, działanie prozdrowotne związków fenolowych wydaje się przeważać nad ich działaniem antyodżywczym.

Literatura

- [1] Adlercreutz H., Mazur W., Bartels P., Elomaa V., Watanabe S., Wahala K., Landstrom M., Lundin E., Wahala K., Damber J.E., Aman P., Widmark A., Johansson A., Zhang J.X., Hallmans G. 2000. Phytoestrogens and prostate disease. *J. Nutr.* 130: 658S–659S.

- [2] Boue S.M., Wiese T.E., Nehls S., Burow M.E., Elliott S., Carter-Wientjes C.H., Shih B.Y., McLachlan J.A., Cleveland T.E. 2003. Evaluation of the estrogenic effects of legume extracts containing phytoestrogens. *J. Agric. Food Chem.* 51: 2193–2199.
- [3] Bowey E., Adlercreutz H., Rowland I. 2003. Metabolism of isoflavones and lignans by the gut microflora: a study in germ-free and human flora associated rats. *Food Chem. Toxicol.* 41: 631–636.
- [4] Coni E., DiBenedetto R., DiPasquale M., Masella R., Modesti D., Mattei R., Carlini E.A. 2000. Protective effect of oleuropein, an olive oil biophenol, on low density lipoprotein oxidizability in rabbits. *Lipids* 35: 45–53.
- [5] Demonty I., Lamarche B., Deshaies Y., Jacques H. 2002. Role of soy isoflavones in the hypotriglyceridemic effect of soy protein in the rat. *J. Nutr. Biochem.* 13: 671–677.
- [6] Fito M., Covas M.I., Lamuela-Raventos R.M., Vila J., Torrents J., de la Torre C., Marrugat J. 2000. Protective effect of olive oil and its phenolic compounds against low density lipoprotein oxidation. *Lipids* 35: 633–638.
- [7] Fremont L., Gozzelino M.T., Linard A. 2000. Response of plasma lipids to dietary cholesterol and wine polyphenols in rats fed polyunsaturated fat diets. *Lipids* 35: 991–999.
- [8] Griffith D.W. 1991. Condensed tannins. W: Toxic Substances in Crop Plants. Wyd.: D' Mello J.P.F., Duffus C.M. and Duffus J.H., Royal Soc. Chem., Cambridge: 180–201.
- [9] Heim K.E., Tagliaferro A.R., Bobilya D.J. 2002. Flavonoids antioxidants: chemistry, metabolism and structure-activity relationships. *J. Nutr. Biochem.* 13: 572–584.
- [10] Huisman J. 1992. Antinutritional factors in poultry feeds and their management. Proc. 8 Europ. Symp. Poultry Nutr., October 14–17, Venezia: 42–59.
- [11] Juskiewicz J., Zduńczyk Z., Wróblewska M., Oszmiański J., Hernandez T. 2002. The response of rats to feeding with diets containing grapefruit flavonoid extract. *Food Res. Intern.* 35: 201–205.
- [12] Kamal-Eldin A., Frank J., Razdan A., Tengblad S., Basu S., Vessby B. 2000. Effects of dietary phenolic compounds on tocopherol, cholesterol, and fatty acids in rats. *Lipids* 35: 427–435.
- [13] Kim D-O., Lee K.W., Lee H.J., Lee C.Y. 2002. Vitamin C equivalent antioxidant capacity (VCEAC) of phenolic phytochemicals. *J. Agric. Food Chem.* 50: 3713–3717.
- [14] Kossel H. 1891. Über die chemische Zusammensetzung der Zelle. *Arch. Physiol. Abt., Arch. Anat. Physiol.*: 181–186.
- [15] Kris-Etherton P.M., Keen C.L. 2002. Evidence that the antioxidant flavonoids in tea and cocoa are beneficial for cardiovascular health. *Curr. Opin. Lipidol.* 13: 41–49.
- [16] Kris-Etherton P.M., Krummel D., Russel M.E., Dreon D., Mackey S., Borchers J., Wood P.D. 1988. The effect of diet on plasma lipids, lipoproteins and coronary heart disease. *J. Am. Diet. Assoc.* 88: 1373–1400.
- [17] Kroll J., Rawel H.M. 2001. Reactions of plant phenols with myoglobin: influence of chemical structure of the phenolic compounds. *J. Food Sci.* 66: 48–58.
- [18] Martin-Tanguy J., Guillaume J., Kossa A. 1977. Condensed tannins of horse bean seeds: chemical structure and apparent effects on poultry. *J. Sci. Food Agric.* 28: 757–765.
- [19] Monti S.M., Ritieni A., Sacchi R., Skog K., Borgen E., Fogliano V. 2001. Characterization of phenolic compounds in virgin olive oil and their effect on the formation of carcinogenic/mutagenic heterocyclic amines in a model system. *J. Agric. Food Chem.* 49: 3969–3975.

- [20] Nenadis N., Zhang H-Y., Tsimidou M.Z. 2003. Structure-antioxidant activity relationship of ferulic acid derivatives: effect of carbon side chain characteristic groups. *J. Agric. Food Chem.* 51: 1874–1879.
- [21] Okuyama H. 2001. High n-6 to n-3 ratio of dietary fatty acids rather than serum cholesterol as a major risk factor for coronary heart disease. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 103: 418–422.
- [22] Pedrelli P., Skibsted L.H. 2002. Antioxidant synergy and regeneration effect of quercetin, (–)-epicatechin, and (+)-catechin on α -tocopherol in homogeneous solutions of peroxidating methyl linoleate. *J. Agric. Food Chem.* 50: 7138–7144.
- [23] Rohn S., Rawel H.M., Kroll J. 2002. Inhibitory effects of plant phenols on the activity of selected enzymes. *J. Agric. Food Chem.* 50: 3566–3571.
- [24] Rohn S., Rawel H.M., Pietruschinski N., Kroll J. 2001. In vitro inhibition of β -chymotryptic activity by phenolic compounds. *J. Sci. Food Agric.* 81: 1512–1521.
- [25] Sakagami H., Satoh K. 1997. Pro-oxidant action of two antioxidants: ascorbic acid and gallic acid. *Anticancer Res.* 17: 1125–1130.
- [26] Setchell K.D.R., Brown N.M., Zimmer-Nechemias L., Brashear W.T., Wolfe B.E., Kirschner A.S., Henbi J.E. 2002. Evidence for lack of absorption of soy isoflavone glycosides in humans, supporting the crucial role of intestinal metabolism for bioavailability. *Amer. J. Clin. Nutr.* 76: 447–453.
- [27] Stahl E. 1988. Pflanzen und Schnecken, Biologische Studie über die Schutzmittel der Pflanzen gegen Scheckenfrass. *Jenaische Z. Naturwiss.* 22: 657–684.
- [28] Van der Poel A.F.B., Dellaert L.M.W., Van Norel A., Helsper J.P.F.G. 1992. The digestibility in piglets of faba bean (*Vicia faba* L.) as affected by breeding towards the absence of condensed tannins. *Br. J. Nutr.* 68: 793–800.
- [29] Visioli F., Galli C., Galli G., Caruso D. 2002. Biological activities and metabolic fate of olive oil phenols. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 104: 677–684.
- [30] Vyn T.J., Yin X., Bruulsema T.W., Jackson C.C., Rajcan I., Brouder S.M. 2002. Potassium fertilization effects on isoflavone concentrations in soybean [*Glycine max* (L.) MERR]. *J. Agric. Food Chem.* 50: 3501–3506.
- [31] Wang H-Z., Zhang Y., Xie L-P., Yu X-Y., Zhang R-Q 2002. Effects of genistein and di-dzein on the cell growth, cell cycle, and differentiation of human and murine melanoma cells. *J. Nutr. Biochem.* 13: 421–426.
- [32] Witzum J.L. 1994. The oxidation hypothesis of atherosclerosis. *Lancet* 344: 793–795.
- [33] Yen G-C., Duh P-D., Tsai H-L. 2002. Antioxidant and pro-oxidant properties of ascorbic acid and gallic acid. *Food Chem.* 79: 307–313.
- [34] Zduńczyk Z., Frejnagel S., Wróblewska M., Juśkiewicz J., Oszmiański J., Estrella I. 2002. Biological activity of polyphenol extracts from different plant sources. *Food Res. Intern.* 35: 183–186.
- [35] Zhao M.J., Jung L. 1995. Kinetics of the competitive degradation of deoxyribose and other molecules by hydroxyl radicals produced by the Fenton reaction in the presence of ascorbic acid. *Free Radical Res.* 23: 229–243.
- [36] Zhou J.R., Gugger E.T., Tanaka T., Guo Y., Blackburn G.L., Clinton S.K. 1999. Soybean phytochemicals inhibit the growth of transplantable human prostate carcinoma and tumor angiogenesis in mice. *J. Nutr.* 129: 1628–1635.

Biological activity of selected phenolic compounds

Key words: phenolic acids, tannins, flavonoids, physiological activity

Summary

Phenolic compounds wide spread in the plants are characterized by antinutritive and health-related features. Phenolic acids, e.g. gallic acid or caffeic acid, reduce the activity of proteolytic and amylolytic enzymes. Their health-related features resulted from their antioxidizing activity. Phenolic acids bind with the carbohydrates giving hydrolysable tannins. Other tannins, the condensed ones, more wide spread in plants consist of flavonoid monomers. Tannins bind with proteins forming undigestible complexes. Flavonoids show the structural similarities to the female hormone thus they can be responsible for the infertility in animals. On the other hand they are strong antioxidants, they lower the cholesterol and triacylglycerol levels in blood, and they can be anticancerogenic. Summing up, the health-related features of phenolics seem to be more important than their antinutritive activity.