

KWAS TANINOWY – SKŁADNIK PROZDROWOTNY CZY ANTYODŻYWCZY?

**Aleksandra Golonko¹⁾, Renata Świsłocka²⁾, Monika Kalinowska²⁾,
Włodzimierz Lewandowski¹⁾**

¹⁾Instytut Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego im. prof. Waclawa Dąbrowskiego,
ul. Rakowiecka 36, 02-532 Warszawa

²⁾Katedra Chemii, Biologii i Biotechnologii, Wydział Budownictwa i Nauk o Środowisku,
Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45E, Białystok

w-lewando@wp.pl

Streszczenie

Kwas taninowy jest organicznym związkiem należącym do grupy tanin. Kwas ten znajduje wiele zastosowań m.in. w przemyśle farmaceutycznym oraz w niektórych gałęziach przemysłu spożywczego. Właściwości przeciwdrobnoustrojowe i przeciwutleniające przemawiają za możliwością stosowania kwasu taninowego jako nowego, bezpiecznego dodatku do żywności o charakterze konserwującym. Zdolność tej grupy związków do kompleksowania jonów metali przejściowych z pożywienia budzi obawy z powodu potencjalnego ograniczenia ich walorów odżywczych, a w konsekwencji przyswajalności makro- i mikroelementów z układu pokarmowego.

Słowa kluczowe: kwas taninowy, kwasy polifenolowe, związki kompleksowe, wolne rodniki, peroksydacja lipidów, konserwacja żywności

TANNIC ACID – A PRO-HEALTH OR ANTI-NUTRITIONAL COMPOUND?

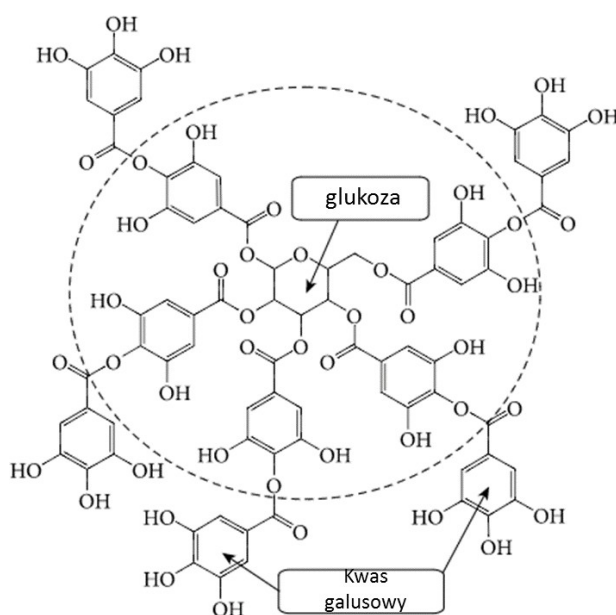
Summary

Tannic acid is an organic compound that belongs to the tannin group. This acid finds many applications, among others in the pharmaceutical industry and in some branches of the food industry. Antimicrobial and antioxidant properties support the possibility of using this acid as a new, safe food additive with a preservative character. Unfortunately, the ability of this group of compounds to complex transition metal ions raises concerns because of the potential reduction of the nutritional value of the product and, as a consequence, the absorption of macro- and microelements from the digestive tract.

Key words: tannic acid, polyphenolic acid, coordination complexes, free radicals, lipid peroxidation, food preservation

WSTĘP

Kwas taninowy, zwany także kwasem garbnikowym to ester kwasu galusowego i digalusowego z ulokowaną centralnie cząsteczką glukozy (Rysunek 1). Należy on do grupy tanin, które ulegają hydrolizie w słabych kwasach i zasadach, w przeciwieństwie do tanin skondensowanych - nieposiadających sacharydu w cząsteczce. Mimo braku grupy karboksylowej, wykazuje słabo kwasowy odczyn ($pK_a=6$) warunkowany obecnością wielu grup hydroksylowych w pierścieniach aromatycznych.



Rysunek 1. Struktura chemiczna kwasu taninowego. Centralna cząsteczka glukozy zestyfikowana jest kwasami galusowymi przy wszystkich pięciu grupach hydroksylowych. Zaznaczono rdzeń kwasu garbnikowego [Fu *i in.* 2019] *Chemical structure of tannic acid. The central glucose molecule is esterified with gallic acids at all five hydroxyl groups. Tannic acid core is marked [Fu *i in.* 2019]*

W świecie roślin taniny chronią tkanki przed atakiem owadów i patogenów grzybowych. Ich charakterystyczny, cierpki smak odstrasza również zwierzęta przed zgrzyzaniem roślin. Stosunkowo wysoką zawartość tego kwasu stwierdza się w korze i zdrewniałych tkankach sekwoi (*Sequoia sempervirens*) - żywotnego drzewa, którego niektóre okazy sięgają nawet 3 000 lat [Waller *i in.* 2000]. Niegdyś związek ten uzyskiwany był z galasów, struktur o charakterze narośli, będących skutkiem żerowania larw owadów - galasówek (Rysunek 2) na liściach dębu czy jabłoni. Innym bogatym źródłem tego związku jest łuska granatu (*Punica granatum*), kora dębu, orzecha, sosny, mahoni, a także pokrzywa, czarne jagody, żurawina,

truskawki, jeżyny czy kasztanowiec [Siqueira *i in.* 2012].

Popularność tej klasy związków wzrosła, odkąd zaczęto stosować korę drzew takich jak wierzba, kasztan i dąb do garbowania skór. Mimo, że proces garbowania znany był ludzkości już w prehistorii, to termin „garbnik” został po raz pierwszy użyty w 1796 r. przez francuskiego uczonego Armanda Seguina, który opublikował esej opisujący ekstrakty roślinne stosowane do garbowania (tłum. fr. *tannage*- garbowanie) [Falcão *i in.* 2018].

W aktualnym ujęciu kwas taninowy coraz częściej stanowi interesujący obiekt badań w terapii chorób przewlekłych. Zaobserwowano m.in. jego zdolność do hamowania aktywności α -glukozydazy poprzez zmianę konformacji kwasu [Huang *i in.* 2019], co wskazuje na potencjalne korzyści w terapii cukrzycy typu 2. Badania Chung *i* wsp. wskazują, że związek ten poprzez inhibicję acetylotransferazy histonowej obniża ekspresję genów związanych z lipogenezą. Tym samym ogranicza akumulację lipidów w modelach *in vivo* i *in vitro* niealkoholowego stłuszczenia wątroby [Chung *i in.* 2019]. Kwas taninowy wykazuje również aktywność przeciwdrobnoustrojową, przeciw pasożytniczą i antyoksydacyjną, a więc posiada cechy skutecznego dodatku do żywności i pasz. Substancja ta została sklasyfikowana do kategorii „dodatki sensoryczne” i do grupy funkcjonalnej „substancje aromatyzujące” (Dz.U.U.E.L.2017.13.259). Opinia EFSA (ang. European Food Safety Authority - Europejski Urząd ds. Bezpieczeństwa Żywności) na temat bezpieczeństwa i skuteczności stosowania kwasu garbnikowego jako dodatku paszowego u wszystkich gatunków zwierząt informuje o jego rekomendowanym stężeniu do 15 mg/kg paszy (Dziennik EFSA 2014; 12(10):3828). Mimo powszechnego użycia w przemyśle spożywczym, związek ten nie jest klasyfikowany jako dodatek do żywności i nie posiada nadanego numeru „E” (Dyrektywa UE 89/107/ EWG).



Rysunek 2. Galasy na liściach dębu (*Quercus robur*) [Zdjęcie z pracy: [Bolek *i in.* 2018]].
Galls on oak leaves (Quercus robur) [Photo from work: [Bolek et al. 2018]]

Taniny, w tym kwas taninowy okazały się bardzo obiecującym składnikiem m.in. antybakteryjnych materiałów opakowań biodegradowalnych czy warstw ochronnych powlekających owoce, hamując ich dojrzewanie i zapewniając dłuższy okres przydatności do spożycia [Singh *i in.* 2018].

Jednym z możliwych praktycznych zastosowań kwasu taninowego, oprócz włączenia jako bezpośredniego adjuwantu w terapii oraz jako dodatku żywnościowego jest wykorzystanie go jako funkcjonalnego składnika sterylnych materiałów jedwabnych. Taka tkanina poddana działaniu kwasu garbnikowego o stężeniu 0,5% kwasu /masę tkaniny wykazywała trwale i zadowalające właściwości antybakteryjne. W wyższych stężeniach - 2% i 5% materiał ten cechował się również dobrą aktywnością przeciwutleniającą [Zhang *i in.* 2019].

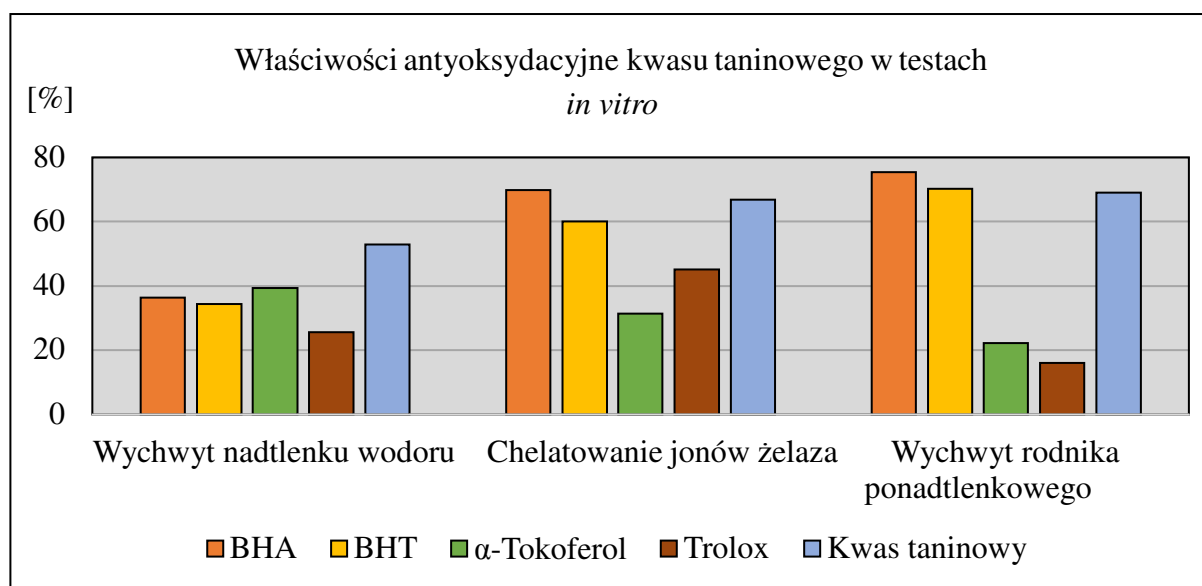
Przeciwutleniacz w konserwacji żywności

Kwas taninowy jest często spotykanym składnikiem żywności i zaklasyfikowany jest jako produkt uważany za bezpieczny (GRAS - ang. *Generally Recognized As Safe*). Jego bezpieczna jednorazowa dawka mieści się w przedziale od 10 do 400 µg, w zależności od produktu [Gülçin *i in.* 2010], a wartość LC₅₀ przy doustnym podaniu szczurom wynosi 2 260 mg/kg. Ponadto posiada korzystne parametry fizykochemiczne - jest to związek bardzo dobrze rozpuszczalny w wodzie (2 850 g/L) i dobrze rozpuszczalny w etanolu (100 g/L). Szczególnie duże zainteresowanie związkami polifenolowymi obserwuje się w kontekście skutecznych i bezpiecznych dla człowieka antyoksydantów, gdyż jako naturalne związki roślinne wykazują na ogół niską toksyczość, wszechstronność zastosowań i stosunkowo wysoki potencjał przeciwutleniający.

Z powodu coraz wyższego popytu i podaży produktów zawierających wielonienasycone kwasy tłuszczowe, żywność ta staje się bardziej podatna na utlenianie. Dotyczy to także mięs, w którym oksydacja rozpoczyna się od fosfolipidów i katalizowana jest przez białka hemowe jak hemoglobina, mioglobina a także cytochrom, jony żelaza, enzymy i chlorek sodu, który zaburza integralność strukturalną błony i umożliwia katalizatorom dostęp do substratów. Wbrew pozorom, gotowane mięso jest bardziej podatne na utlenianie, gdyż wysoka temperatura powoduje uwalnianie tlenu, hemu i żelaza, a więc jest to proces dodatkowo generujący powstawanie wolnych rodników. Jedną ze strategii zwiększenia stabilności oksydacyjnej mięsa jest suplementacja zwierząt hodowlanych związkami fenolowymi pochodzenia roślinnego, co dodatkowo ma poprawiać strawność i stan mikroflory jelitowej zwierząt. W badaniach zespołu Starčević *i wsp.* wykazano, że suplementacja kurcząt brojlerów tymolem, kwasem

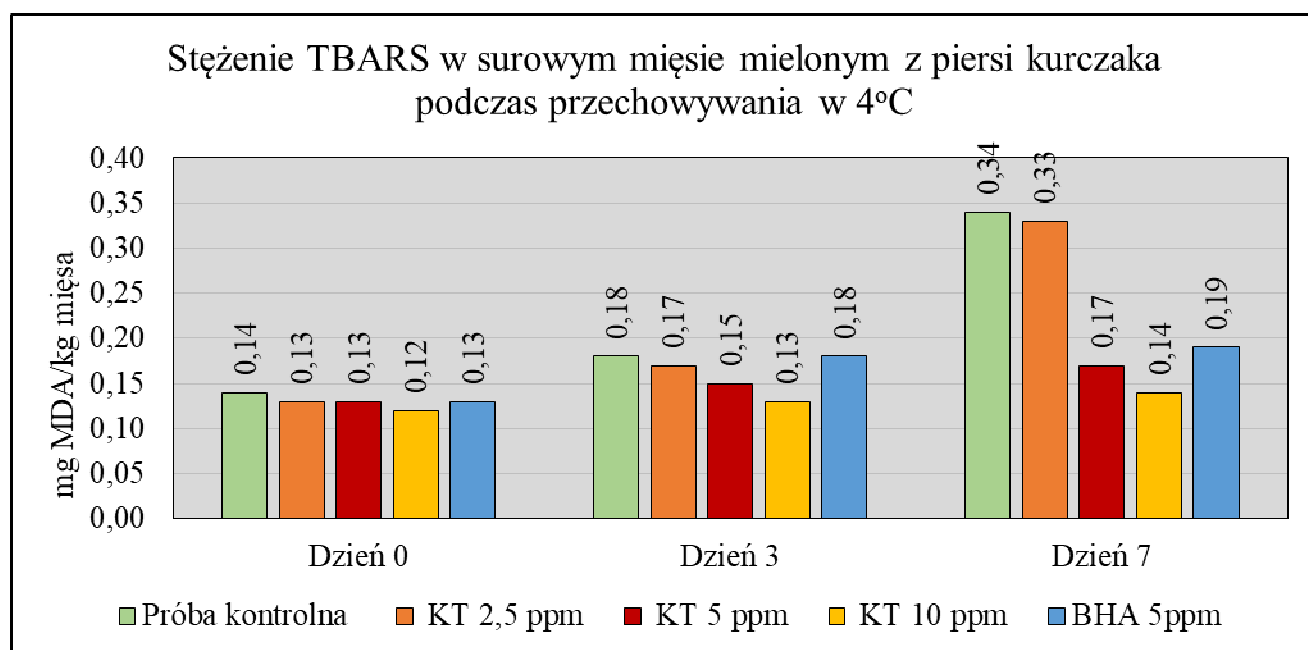
garbnikowym i galusowym obniżyły wartości TBARS (ang. Thiobarbituric acid reactive substances - stężenia substancji reagujących z kwasem tiobarbiturowym) w mięśniu piersiowym w porównaniu do prób kontrolnych bez dodatku polifenoli [Starčević *i in.* 2015].

Istnieje wiele mechanizmów aktywności antyoksydacyjnej związków polifenolowych. Niektóre z nich zapobiegają tworzeniu wolnych rodników poprzez chelatowanie jonów metali pro-utleniających, inne zaś działają jako związki wychwytyjące rodniki hydroksylove czy ponadtlenkowe i delokalizujące ładunek elektronowy w pierścieniu grupy fenylovej [Golonko *i in.* 2016]. Zdolność do chelatowania jonów żelaza wydaje się mieć szczególnie ważne znaczenie, gdyż reakcja ta zmniejsza stężenie metalu katalizującego proces peroksydacji lipidów. Związki takie określane są wtórnymi przeciwutleniaczami, bowiem zmniejszają potencjał redoks i stabilizują utlenioną formę metalu [Gülçin *i in.* 2010]. Peroksydacja lipidów jest zjawiskiem wpływającym nie tylko na cechy organoleptyczne i wizualne produktów spożywczych, lecz stanowi istotny aspekt toksykologiczny. Wiadomo, że zarówno wolne rodniki jak i utlenione formy tłuszczów są szkodliwe dla zdrowia, posiadają potencjał mutagenny i rakotwórczy. Do takich produktów reakcji rozkładu lipidów należą m.in. alkohole, ketony, alkany, aldehydy np. wysoce reaktywny dialdehyd malonowy (MDA) i etery. Według pracy Ahmed M., utlenianie lipidów uznawane jest za główną przyczynę pogorszenia jakości żywności [Ahmed *i in.* 2016].



Rysunek 3. Właściwości antyoksydacyjne kwasu taninowego w porównaniu z popularnymi przeciwutleniaczami w testach *in vitro* [Gülçin *i in.* 2010]
Antioxidant properties of tannic acid in comparison with popular antioxidants in in vitro tests [Gülçin et al. 2010]

Kwas garbnikowy stanowi bardzo obiecujący konserwant produktów podatnych na utlenianie. W testach *in vitro* okazał się lepszym antyoksydantem niż witamina E (alfa-tokoferol) czy syntetyczne przeciwutleniacze - BHT (butylowany hydroksytoluen) i BHA (butylowany hydroksyanizol) (rysunek 3). Późniejsze badania przeprowadzone przez Al-Hijazeen i wsp. potwierdziły hipotezy o korzystnych właściwościach kwasu taninowego w konserwacji mięs [Al-Hijazeen *et al.* 2016]. Zaobserwowano, że jego dodatek w stężeniu 5 i 10 ppm do mielonego mięsa z kurczaka znacznie hamuje utlenianie lipidów, co obserwowano jako spadek zawartości heksanal, a także innych aldehydów. Można więc wnioskować, że przeciwutleniacze o właściwościach chelatujących są skutecznymi inhibitorami utleniania lipidów, gdyż kompleksują jony metali biorące bezpośredni udział w inicjacji reakcji peroksydacji lipidów (rysunek 4).



Rysunek 4. Stężenie kwasu tiobarbiturowego (TBARS) w przeliczeniu na aldehyd dimalonowy (MDA) w próbkach surowego mięsa z piersi kurczaka. [KT- kwas taninowy, BHA- butylowany hydroksyanizol, próba kontrolna bez dodatku konserwantu]. Badanie [Al-Hijazeen *i in.* 2016]

*Thiobarbituric acid concentration (TBARS) calculated as dimaldehyde (MDA) in raw chicken breast meat samples. [KT-tannic acid, BHA-butylated hydroxyanisole, control without preservative]. Research [Al-Hijazeen *et al.* 2016]*

Jak przedstawiono na rysunku 4., kwas taninowy w stężeniu 10 ppm wykazuje najsilniejsze działanie przeciwutleniające, natomiast porównując jednakowe stężenia KT i BHA (5 ppm) można zauważyć, że polifenol efektywniej zapobiega peroksydacji lipidów w mięsie niż butylowany hydroksyanizol (BHA). Dotychczasowe doniesienia wskazują na

konieczność ograniczenia BHA (E320) ze względu na jego potencjalną szkodliwość, w szczególności na funkcjonowanie układu endokrynologicznego [Pop *i in.* 2013].

Właściwości przeciwdrobnoustrojowe

Przeciwdrobnoustrojowe właściwości garbników wynikają z ich wielokierunkowej aktywności biologicznej. W porównaniu do innych polifenoli, posiadają one unikalne właściwości ściągające, a więc koagulujące białka skóry i błon śluzowych poprzez ich sieciowanie, czyniąc tkankę mniej przepuszczalną. Taki mechanizm dotyczy również bakteryjnych białek błonowych i białek enzymatycznych. Większość enzymów jest białkiem, a zmniejszenie ich aktywności pod wpływem garbników tłumaczy się reakcjami kompleksowania, choć nowsze badania wskazują, że taniny mogą działać jako bezpośrednie inhibitory aktywności enzymatycznej [Adamczyk *i in.* 2017]. Jest to istotna cecha szczególnie w przypadku hamowania wzrostu bakterii tworzących biofilm jak *Staphylococcus aureus*. Prawdopodobnie kwas taninowy niszczy integralność ściany komórkowej a w stężeniach poniżej MIC (ang. minimum inhibitory concentration- minimalne stężenie hamujące) skutecznie powstrzymuje tworzenie biofilmu [Dong *i in.* 2018]. Okazuje się, że kwas taninowy hamuje również wzrost szczepu *Staphylococcus aureus* opornego na tetracyklinę i erytromycynę poprzez inhibicję aktywności jednego z mechanizmów oporności bakteryjnej, tzw. *pomp efflux*, które odpowiadają za czynne usuwanie antybiotyku z wnętrza komórki. Autorzy wskazują, że związek ten może stanowić obiecujący adjuwant w antybiotykoterapii przeciw szczepom z opornością wielolekową [Tintino *i in.* 2017]. Innym mechanizmem hamowania wzrostu bakterii jest tworzenie kompleksów z metalami, głównie z niezbędnym żelazem działając jak siderofor i czyniąc ten pierwiastek niedostępnym dla mikroorganizmu. Według Chung *i wsp.*, potencjał przeciwdrobnoustrojowy kwasu taninowego uwarunkowany jest obecnością wiązania estrowego między kwasem galusowym a glukozą (Rysunek 1.) [Chung *i in.* 1993], gdyż zarówno kwas galusowy i elagowy nie hamowały wzrostu żadnego z badanych 15-stu szczepów bakterii obecnych w skażonej żywności m.in. *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Alcaligenes faecalis*, *Streptococcus faecalis* oraz *Yersinia enterocolitica*.

Przeciwdrobnoustrojowy efekt działania tanin tłumaczy się różnymi procesami, w tym:

- a. Inhibicją enzymów
- b. Ograniczeniem dostępności substratów niezbędnych do wzrostu drobnoustrojów
- c. Hamowaniem fosforylacji oksydacyjnej
- d. Tworzeniem kompleksów z niezbędnymi jonami metali

- e. Tworzeniem kompleksów z białkami błon komórkowych, poprzez zmiany morfologiczne w błonach komórkowych i zwiększenie przepuszczalności błon [Huang *i in.* 2018].

Kompleksowanie jonów żelaza - dwie strony medalu

Wiadomo, że żelazo jako niezbędny pierwiastek u prawie wszystkich żywych organizmów uczestniczy w wielu kluczowych procesach metabolicznych takich jak transport tlenu (hemoglobina), synteza DNA i transport elektronów [Abbaspour *i in.* 2014]. Znaczna większość żelaza znajdującego się w pożywieniu to żelazo trójwartościowe- Fe(III). Forma ta słabo rozpuszcza się w wodzie i jest trudno przyswajalna. W świetle jelita jony Fe^{3+} muszą zostać więc zredukowane do przyswajalnej formy dwuwartościowej Fe^{2+} przez reduktazy w środowisku niskiego pH soku żołądkowego. Stwierdzono, że składniki antyodżywcze takie jak fityniany i garbniki, ale również białka zwierzęce jak kazeina czy białka serwatkowe mogą negatywnie wpływać na biodostępność związków mineralnych, w tym żelaza. Stąd uważa się, że dieta bogata zarówno w rośliny strączkowe, niektóre zboża czy nabiał może przyczynić się w pewnym stopniu do występowania niedoborów, a w konsekwencji do niedokrwistości. Z drugiej strony dieta bogata w polifenole, w tym w garbniki działa przeciw występowaniu chorób sercowo-naczyniowych, cukrzycy, choroby Alzheimera i nowotworów. Za taki efekt odpowiada między innymi zdolność do neutralizacji szkodliwych reaktywnych form tlenu (ROS) oraz interakcji z innymi białkami enzymatycznymi i receptorowymi [Braidys *i in.* 2017].

Związek przyczynowo skutkowy między spożywaniem kwasu taninowego a poziomem żelaza we krwi nie jest jednoznaczny. Jedno z pierwszych doniesień o wpływie tanin na wchłanianie żelaza sugerowało tworzenie nierozpuszczalnych kompleksów taninianu żelaza ograniczających biodostępność tego pierwiastka [Disler *i in.* 1975]. Co ciekawe istnieje wiele dowodów obalających tę tezę m.in. fakt, iż osoby spożywające produkty o wysokich stężeniach garbników oraz innych składników antyodżywczych na ogół mają normalny poziom żelaza we krwi [Gibson *i in.* 2014]. Ponadto usunięcie fitynianów z produktów zbożowych nie wpłynęło na zmianę poziomu żelaza wśród niemowląt [Davidsson *i in.* 1997]. Kwas taninowy może tworzyć kompleksy z żelazem na obu stopniach utlenienia. Dane z badań spektrofotometrycznych wskazują, że stosunek stechiometryczny w kompleksach żelaza (III) a kwasem taninowym wynosi 1:1, natomiast z żelazem (II) 3:1 przy pH=9. Przy pH kwasowym (pH=2,2) stosunek metal : ligand jest jednakowy zarówno w kompleksie Fe(III) i Fe(II) wynosi 1:1 [Fu *i in.* 2019].

Taniny jako dodatek paszowy

Skłonność tanin do hamowania aktywności enzymatycznej może wynikać z obecności wielu grup hydroksylowych, co w efekcie powoduje utratę katalitycznej aktywności enzymów trawiennych przez zmiany w ich konfiguracji [He *i in.* 2007]. Stąd, kwas taninowy jest często klasyfikowany jako składnik antyodżywczy w paszach, gdyż negatywnie wpływa na wydajność wzrostu zwierzęcia, a w wysokich stężeniach może być toksyczny i upośledzać funkcje immunologiczne [Marzo *i in.* 1990]. Jednak ostatnie badania rzucają nowe, pozytywne światło na funkcje tannin w wydajnej hodowli kurcząt i ssaków, w tym trzody chlewnej. Według badań, składniki paszowe z dodatkiem tanin ograniczają występowanie pasożytów żołądkowo-jelitowych zarówno u małych ssaków [Min *i in.* 2005] i przeżuwaczy (w dawce nie niższej niż 20 g/kg), oraz poprawiają stan mikrobiologiczny jelit. Należy przy tym zaznaczyć, że istotne znaczenie ma tu stężenie tanin. W przypadku tanin skondensowanych za bezpieczną dawkę przyjmuje się <50 g/kg u przeżuwaczy, a korzystny wpływ tych związków tłumaczy się obniżeniem stopnia degradacji białek w żwaczu i wzrostem ilości białka docierającego do jelita cienkiego. W wysokich dawkach efekt ten jest odwrotny i ściągające właściwości tanin utrudniają trawienie i wchłanianie składników odżywczych. Ponadto zbyt duże skoncentrowanie garbników wykazuje aktywność przeciwdrobnoustrojową i ogranicza wzrost mikroorganizmów symbiotycznych w żwaczu i hamuje aktywność endogennych enzymów trawiennych. Mimo wielu potencjalnych zalet, aktualne dane z obserwacji prowadzonych na świniami i brojlerach wskazują, że dodatek kwasu taninowego sporadycznie przynosi korzyści w wydajności hodowlanej [Huang *i in.* 2018] (Tabela 1).

Tabela 1. Wpływ dodatku kwasu taninowego na parametry morfologiczne i fizjologiczne wybranych zwierząt hodowlanych [na podst. [Huang *i in.* 2018]
Impact of the addition of tannic acid on the morphological and physiological parameters of selected breeding animals [Based on [Huang et al. 2018]

Obiekt badań	Stężenie	Efekt	Referencje
Świnia	125, 250, 500 i 1000 mg/kg	<ul style="list-style-type: none"> - pogorszenie przyrostu - wzrost stężenia wydalanego żelaza w kale - obniżenie liczby erytrocytów, hemoglobiny i hematokrytu - obniżenie liczby bakterii z grupy <i>coli</i> w kale 	[Farahat <i>et al.</i> 2017]
Świnia	125 mg/kg	<ul style="list-style-type: none"> - brak wpływu na wzrost - negatywny wpływ na wskaźniki hematologiczne i stężenie żelaza - zmniejszenie liczby bakterii <i>Clostridium spp.</i> i bakterii z grupy <i>coli</i> - wzrost liczby bakterii <i>Bifidobacterium spp.</i> i <i>Lactobacillus spp.</i> 	[Jeong <i>et al.</i> 2019]
Kurczak brojler (1-35 dni)	0,50%	<ul style="list-style-type: none"> - poprawa wzrostu - obniżenie poziomu glukozy we krwi - wzrost zawartości tłuszczu w mięśniu piersiowym i udowym - spadek poziomu cholesterolu w wątrobie 	[Starčević <i>et al.</i> 2015]
Kurczak brojler	2,5%, 3%	<ul style="list-style-type: none"> - spadek przyrostu masy ciała - spadek poziomu białych krwinek i limfocytów (upośledzenie funkcji immunologicznej) 	[Marzo <i>et al.</i> 1990]
Kurczak brojler [poddany stresowi cieplnemu]	1%	<ul style="list-style-type: none"> - spadek przyrostu masy ciała - poprawa profilu kwasów tłuszczowych w mięśniu piersiowym - korzystny efekt w potencjalnej suplementacji jako przeciwutleniacz w żywieniu drobiu w gorących warunkach klimatycznych 	[Ebrahim <i>et al.</i> 2015]

WNIOSKI

Tkanki roślinne są bogatym i zróżnicowanym rezerwuarem związków o charakterze konserwującym, przeciwutleniającym i przeciwdrobnoustrojowym. Zazwyczaj w stężeniach występujących w pożywieniu nie stanowią zagrożenia toksykologicznego. Z powodu wzrostu świadomości konsumentów w zakresie składu i bezpieczeństwa żywności należy rozważyć możliwość komercyjnego stosowania tanin, w tym kwasu taninowego w utrwalaniu niektórych produktów spożywczych wrażliwych na utlenianie, szczególnie mięs. Aktualne

i długoterminowe badania nie wykazały jednoznacznej szkodliwości wynikającej ze spożywania kwasu taninowego ani jego negatywnego wpływu na przyswajalność żelaza. Mimo to, w przypadku stosowania tego związku jako dodatku paszowego należy zachować pewną ostrożność. Kwas taninowy wykazuje właściwości przeciwdrobnoustrojowe, co w konsekwencji może przyczynić się do zubożenia mikroflory zwierząt przeżywających jak również ograniczać proces trawienia przez hamowanie aktywności niektórych enzymów i przyswajalność składników odżywczych.

Powyższa praca jest częścią szerszego projektu realizowanego w ramach grantu NCN, którego zadaniem jest między innymi badanie zależności między strukturą molekularną wybranych kwasów fenolowych a ich aktywnością biologiczną.

Praca została wykonana w ramach grantu Narodowego Centrum Nauki nr 2018/31/B/N27/03083.

PIŚMIENNICTWO

1. Abbaspour N., Hurrell R., Kelishadi R. (2014). Review on iron and its importance for human health. *J. Res. Med. Sci.*, 19, 164–174
2. Adamczyk B., Simon J., Kitunen V., Adamczyk S., Smolander A. (2017). Tannins and Their Complex Interaction with Different Organic Nitrogen Compounds and Enzymes: Old Paradigms versus Recent Advances. *ChemistryOpen*, 6, 610–614
3. Ahmed M., Pickova J., Ahmad T., Liaquat M., Farid A., Jahangir M. (2016). Oxidation of Lipids in Foods. *Sarhad J. Agric.*, 32, 230–238
4. Al-Hijazeen M., Lee E.J., Mendonca A., Ahn D.U. (2016). Effects of tannic acid on lipid and protein oxidation, color, and volatiles of raw and cooked chicken breast meat during storage. *Antioxidants*, 5(2), 19-29
5. Bilek M., Mokrzycki T., Staniszewski P. (2018). Galasy polskie... - także w mieście, Leśnik w mieście, czyli edukacja leśna na terenach zurbanizowanych, Doniesienie Konferencyjne. W, *Współczesne Zagadnienia Edukacji Leśnej Społeczeństwa*. Rogów
6. Braidy N., Jugder B.-E., Poljak A., Jayasena T., Nabavi S.M., Sachdev P., Grant R. (2017). Molecular Targets of Tannic Acid in Alzheimer's Disease. *Curr. Alzheimer Res.*, 14(8), 861-869
7. Chung K.-T., Jr S.E.S., Lin W.-F., Wei C.I. (1993). Growth inhibition of selected food-borne bacteria by tannic acid, propyl gallate and related compounds. *Lett. Appl. Microbiol.*, 17, 29–32

8. Chung M.Y., Song J.H., Lee J., Shin E.J., Park J.H., Lee S.H., Hwang J.T. i in., (2019). Tannic acid, a novel histone acetyltransferase inhibitor, prevents non-alcoholic fatty liver disease both in vivo and in vitro model. *Mol. Metab.*, 19, 34–48
9. Davidsson L., Galan P., Cherouvrier F., Kastenmayer P., Juillerat M.A., Hercberg S., Hurrell R.F. (1997). Bioavailability in infants of iron from infant cereals: Effect of dephytinization. *Am. J. Clin. Nutr.*, 65, 916–920
10. Disler P.B., Lynch S.R., Charlton R.W., Torrance J.D., Bothwell T.H., Walker R.B., Mayet F. (1975). The effect of tea on iron absorption. *Gut*, 16, 193–200
11. Dong G., Liu H., Yu X., Zhang X., Lu H., Zhou T., Cao J. (2018). Antimicrobial and anti-biofilm activity of tannic acid against *Staphylococcus aureus*. *Nat. Prod. Res.*, 32, 2225–2228
12. Falcão L., Araújo M.E.M. (2018). Vegetable tannins used in the manufacture of historic leathers. *Molecules*, 23(5), 1081-1100
13. Fu Z., Chen R. (2019). Study of complexes of tannic acid with Fe(III) and Fe(II). *J. Anal. Methods Chem.*, 2019, 1-6
14. Gibson R.S., Heath A.L.M., Szymlek-Gay E.A. (2014). Is iron and zinc nutrition a concern for vegetarian infants and young children in industrialized countries? W, *American Journal of Clinical Nutrition*. American Society for Nutrition
15. Golonko A., Kalinowska M., Świśłocka R., Świdorski G., Lewandowski W. (2016). Zastosowanie związków fenolowych i ich pochodnych w przemyśle i medycynie. *Bud. i Inż. Środ.*, 6, 161–179
16. Gülçin İ., Huyut Z., Elmastaş M., Aboul-Enein H.Y. (2010). Radical scavenging and antioxidant activity of tannic acid. *Arab. J. Chem.*, 3, 43–53.
17. He Q., Lv Y., Yao K. (2007). Effects of tea polyphenols on the activities of α -amylase, pepsin, trypsin and lipase. *Food Chem.*, 101, 1178–1182
18. Huang Q., Chai W.-M., Ma Z.-Y., Ou-Yang C., Wei Q.-M., Song S., Zou Z.-R. i in. (2019). Inhibition of α -glucosidase activity and non-enzymatic glycation by tannic acid: Inhibitory activity and molecular mechanism. *Int. J. Biol. Macromol.*, 141, 358–368
19. Huang Q., Liu X., Zhao G., Hu T., Wang Y. (2018). Potential and challenges of tannins as an alternative to in-feed antibiotics for farm animal production. *Anim. Nutr.*, 4, 137–150
20. Marzo F., Tosar A., Santidrian S. (1990). Effect of tannic acid on the immune response of growing chickens. *J. Anim. Sci.*, 68, 3306–3312
21. Min B.R., Hart S.P., Miller D., Tomita G.M., Loetz E., Sahlu T. (2005). The effect of

- grazing forage containing condensed tannins on gastro-intestinal parasite infection and milk composition in Angora does. *Vet. Parasitol.*, 130, 105–113
22. Pop A., Kiss B., Loghin F. (2013). Endocrine disrupting effects of butylated hydroxyanisole (BHA - E320). *Clujul Med.*, 86, 16–20
 23. Singh A.P., Kumar S. (2018). Applications of Tannins in Industry, Tannins - Structural Properties, Biological Properties and Current Knowledge, InTech Open, London
 24. Siqueira C.F.D.Q., Cabral D.L.V., Peixoto Sobrinho T.J.D.S., De Amorim E.L.C., De Melo J.G., Araújo T.A.D.S., De Albuquerque U.P., (2012). Levels of tannins and flavonoids in medicinal plants: Evaluating bioprospecting strategies. *Evidence-based Complement. Altern. Med.*, 2012, 434782-434788
 25. Starčević K., Krstulović L., Brozić D., Maurić M., Stojević Z., Mikulec Ž., Bajić M. i in. (2015). Production performance, meat composition and oxidative susceptibility in broiler chicken fed with different phenolic compounds. *J. Sci. Food Agric.*, 95, 1172–1178
 26. Tintino S.R., Morais-Tintino C.D., Campina F.F., Costa M. do S., Menezes I.R.A., de Matos Y.M.L.S., Calixto-Júnior J.T. i in. (2017). Tannic acid affects the phenotype of *Staphylococcus aureus* resistant to tetracycline and erythromycin by inhibition of efflux pumps. *Bioorg. Chem.*, 74, 197–200
 27. Waller D.M., Noss R.F. (2000). *Redwood Forests*The Redwood Forest: History, Ecology, and Conservation of the Coast Redwoods
 28. Zhang W., Yang Z.-Y., Cheng X.-W., Tang R.-C., Qiao Y.-F., (2019). Adsorption, Antibacterial and Antioxidant Properties of Tannic Acid on Silk Fiber. *Polymers (Basel)*, 11, 970-9