

Received: 2014.06.27
Accepted: 2015.06.26
Published: 2015.11.17

Dwukierunkowe działanie witaminy C a degradacja i suplementacja

Dual action of vitamin C versus degradation and supplementation

Katarzyna Kaliś

Śląska Wyższa Szkoła Medyczna w Katowicach

Streszczenie

W pracy omówiono witaminę C w suplementacji z pożywieniem i w postaci doustnej. Dwukierunkowe działanie witaminy C ma związek z obecnością tlenu, który może zmniejszać ilość witaminy w produktach żywnościowych, wpływać na odporność termiczną, powodować degradację oraz wykazywać działanie antyoksydacyjne. Witamina C pobudza syntezę kolagenu i komórki odpornościowe, może chronić frakcję LDL przed utlenieniem, jest więc interesująca z punktu widzenia reumatologii, immunologii i dietetyki, a także kosmetologii. Najnowsze badania witaminy C udowodniły możliwość rozpuszczenia neurotoksycznych blaszek amyloidowych. W leczeniu choroby Alzheimera również skutecznie działa postać utleniona witaminy C, tj. kwas dehydroaskorbinowy. Może być stosowana z witaminą E w celu uniknięcia działania prooksydacyjnego i zahamowania powikłań cukrzycy typu 2. Przegląd zawiera opis rodzajów degradacji witaminy C zależnych od czynników, tj. pH, temperatury, tlenu, enzymów oraz wpływu diety na ilość dostarczonej witaminy. Dane literaturowe potwierdziły korzystne działanie witaminy C jako dodatku do żywności. Przedstawiono metody protekcji witaminy C stosowane w technologii żywności i określenia jej zawartości w produktach żywnościowych. Ponadto opisano problematykę dotyczącą procesów utleniania witaminy C w czasie procesu przetwarzania i przechowywania żywności. Przedstawione wyniki badań wskazują, iż odpowiednia dieta zawiera wystarczającą ilość witaminy C dla osób zdrowych. W przypadku pacjentów przewlekle chorych lepszym rozwiązaniem jest stosowanie suplementu.

Słowa kluczowe:

witaminy • prooksydant • utlenienie żywności • degradacja • peroksydacja lipidów • doustny system terapeutyczny

Summary

The article discusses vitamin C from the point of view of its supplementation with food and in the form of oral supplements. The dual action of vitamin C is connected with the presence of oxygen, which may reduce the amount of the vitamin in food products, influence thermal resistance, cause degradation and show an antioxidation effect. Vitamin C stimulates the immune cells and collagen synthesis. It may protect the LDL fraction against oxidation, and therefore it is interesting for cosmetology, rheumatology, immunology and dietetics. The latest research with respect to vitamin C proved that it has the ability to dissolve neurotoxic senile plaques. Equally effective in the treatment of Alzheimer's disease is the oxidised form of vitamin C, i.e. dehydroascorbic acid. Vitamin C may be used in a combined vitamin E supplementation to avoid the pro-oxidative effect and reduce the risk of diabetes mellitus type 2 complications. In the review there is a description of the types of vitamin C degradation depending on a specific factor such as pH, temperature, oxygen, enzyme and the impact of diet on the quantity of the supplied vitamin. The literature data confirmed the positive influence of vitamin C as an addition to food. The last part of the article presents the methods

Keywords:	of vitamin C protection used in food processing technology and of determining its content in food products. Additionally, the article describes the problems related to vitamin C oxidation processes during food processing and storage. The presented research results indicate that an adequate diet contains a sufficient amount of vitamin C for healthy people. In the case of chronic patients it is better to use supplementation. vitamins • pro-oxidiser • food oxidation • degradation • lipid peroxidation • oral therapeutic system
Full-text PDF:	http://www.phmd.pl/fulltxt.php?ICID=1180642
Word count:	2204
Tables:	1
Figures:	–
References:	55

Adres autorki: dr n.farm. Katarzyna Kaliś, Śląska Wyższa Szkoła Medyczna w Katowicach, Mickiewicza 29, 40-085 Katowice, e-mail: katarzyna.kalis@swwsm.pl/kstok@wp.pl

Wykaz skrótów: ¹³CNMR – węglowy rezonans magnetyczny (carbon magnetic resonance), GLC – chromatografia gazowa (gas liquid chromatography), GLUT2 – transporter glukozy, ¹HNMR – protonowy rezonans magnetyczny (proton magnetic resonance), HPLC – wysokosprawną chromatografię cieczową (high performance liquid chromatography), HPMC – hypromeloza.

WSTĘP

Witamina C ma taką samą aktywność biologiczną zarówno w postaci nieutlenionej, jak i utlenionej, tj. kwasu L-askorbinowego i kwasu L-dehydroaskorbinowego [18]. Stosowana głównie w leczeniu niedoboru, nieodpowiedniej diety, której objawem jest skorbut [36]. Nie jest wytwarzana w organizmie człowieka, więc konieczna jest jej suplementacja [28]. Ze względu na to, iż obie postaci kwasu askorbinowego w obecności tlenu i jonów metali Cu²⁺ i Fe³⁺ ulegają nieodwracalnemu utlenianiu do produktów nieaktywnych biologicznie, pojawia się problem dostarczenia z pożywieniem terapeutycznej dawki witaminy C (200 mg/dobę) [9]. Ponadto, askorbiniany występujące fizjologicznie w kontakcie z jonami żelaza i miedzi wykazują aktywność prooksydacyjną [49]. Powyższa mieszanina, przez stymulowanie powstania rodnika hydroksylowego, uszkadza DNA, tłuszcze, białka *in vitro* i *in vivo* [46]. Fizjologiczne stężenie witaminy C, działające antyoksydacyjnie, wynosi 60-100 mmol/l [48], natomiast działanie prooksydacyjne występuje w stężeniu askorbinianu 0,3-20 mmol/l [5]. Podane wartości są istotne z punktu widzenia ustalenia optymalnego poziomu przeciwutleniaczy w diecie [46], które są dostarczane do organizmu w produktach roślinnych, zwierzęcych i jako dodatki do żywności. Na przykład witaminę C stosuje się, aby zapobiec brązowieniu świeżych lub znajdujących się w puszkach owoców i warzyw oraz zakwaszeniu mięsa. Może być również stosowana jako substancja stabilizująca soki, produkty zbożowe i mleko [47]. Innym przykładem dwukierunkowego działania askorbinianu jest dieta zawierająca żelazo niehemowe (Fe³⁺). Spożywa-

nie pokarmów roślinnych zawierających askorbinian i żelazo niehemowe poprawia wchłanianie żelaza, a jednocześnie może zapoczątkować efekt prooksydacyjny [1,34]. Askorbinian może stymulować syntezę kolagenu, ważnego białka z punktu widzenia kosmetyki i reumatologii. Jest kofaktorem hydroksylazy prolinowej i lizynowej, które są odpowiedzialne za stabilizację kolagenu, a także może bezpośrednio pobudzać syntezę kolagenu przez aktywację jego transkrypcji i stabilizowanie mRNA prokolagenu [22]. Ze względu na niestabilność witaminy C w środowisku wodnym oraz właściwości hydrofilowe stosuje się metody ułatwiające przenikanie witaminy C do skóry właściwej, tj. laser, czy mikrodermabrazję [21,24] oraz naskórną emulsję rozproszonych cząstek wody w fazie olejowej stabilne w obecności tlenu, zawierające m.in. magnezowy fosforan askorbylu i palmitinian 6-askorbylu [30]. Zastosowanie diety w celu uzupełnienia niedoboru witaminy C w skórze dotyczy megadawek kwasu askorbinowego (1000 mg) stosowanych w leczeniu nowotworów i oparzeń skóry [2]. Suplementacja witaminy C jest porównywalnie biodostępna jak spożywanie jej z pokarmem [3]. Ponadto, u chorych na reumatoidalne zapalenie stawów stwierdza się degradację kolagenu, która jest spowodowana utlenieniem askorbinianu do dehydroaskorbinianu obecnego w płynie maziowym [26]. Witamina C pełni w organizmie funkcję immunologiczną, m.in. wpływa na aktywność prozapalną w cukrzycy typu 2. U osób chorujących na otyłość brzuszną będącą wynikiem cukrzycy typu 2 występuje zaburzona obrona antyoksydacyjna. Bezpośrednią przyczyną zmian stężenia askorbinianu w osoczu jest nasilenie procesu peroksydacji lipidów [33,41] oraz działanie konkurencyjne utlenionej witaminy

C w wychwycie komórkowym z glukozą w obecności transportera GLUT2 [12]. Istnieje możliwość zahamowania rozwoju powikłań cukrzycy, tj. zmniejszenie stężenia czynnika krzepliwości krwi przez suplementację witaminy C z witaminą E. Podanie doustne obu witamin pozwala zniwelować skutek prooksydacyjny wysokich dawek witaminy E (300 mg), a dieta zawierająca witaminę E, witaminę C i karotenoidy może zmniejszyć ryzyko cukrzycy typu 2 [32,42]. Natomiast w przypadku zmniejszenia procesu peroksydacji lipidów suplementacja witaminy C jest bardziej korzystna terapeutycznie niż suplementacja skojarzona witamin C i E [16]. Ponadto, kwas askorbinowy i karotenoidy dostarczane z pokarmem roślinnym mogą pełnić funkcję protekcyjną i zahamować peroksydację lipidów oraz oksydacyjne uszkodzenie komórki [9]. Witamina C może być stosowana w profilaktyce miażdżycy, ze względu na ochronne działanie śródbłonna naczyń i zapobiega utlenieniu frakcji lipoproteiny niskiej gęstości (LDL) [27]. Najnowsze badania wskazują na możliwość wykorzystania witaminy C w leczeniu chorób neurodegeneracyjnych [17]. W chorobie Alzheimer'a, neuroprotektoryjne działanie witaminy C polega na supresji immunoreaktywności amyloidu β A11[6].

WPLYW DIETY NA ILOŚĆ DOSTARCZANEJ DO ORGANIZMU WITAMINY C

Źródłem witaminy C w ilości ponad 85% jest dieta bogata w warzywa i owoce. Spożywanie kwasu askorbinowego z pokarmem powoduje obniżenie poziomu markera uszkodzeń DNA, 8-oksoguaniny [8,18]. Pod względem budowy chemicznej syntetyczna witamina C jest identyczna z dostarczaną z pożywieniem, jednak występuje zmienna biodostępność zależna od zawartości flawonoidów w owocach i warzywach [3]. Im większa zawartość flawonoidów, tym mniejsza biodostępność witaminy C w produktach roślinnych. Przykładowo, najwyższą zawartość witaminy C występuje w brokułach (34-93 mg/100 g porcji), w których znajduje się 2,51 mg/100 g porcji kwercetyny, natomiast w kalafiorze witamina C jest na poziomie 17,2 mg/100 g porcji, a zawartość kwercetyny wynosi 160 mg/100 g porcji [3,19,40]. Flawonoidy hamują działanie oksydazy askorbowej, co zapobiega utlenieniu witaminy C i przedłuża jej działanie w organizmie [29]. Enzym ulega inaktywacji w pH 3,5 i wykazuje aktywność w warzywach, głównie kapuście i ogórkach [44]. Biodostępność witaminy C wynosi prawie 100% dla terapeutycznej dawki 200 mg, natomiast nie jest możliwe dostarczenie z pożywieniem dawki 500 mg. Biodostępność witaminy C zawartej w produktach roślinnych m.in. w brokułach może się zmienić w wyniku mechanicznej homogenizacji surowego i ugotowanego warzywa [3]. Źródłem witaminy C oprócz brokułów i kalafiora są także: brukselka, szparagi, kapusta, pomidory oraz owoce: pomarańcze, cytryny, truskawki, kiwi, ananas, czarna porzeczka, grejpfrut. Przykładowe zawartości witaminy C dla wybranych owoców wynoszą 165-252 mg/100 g, 1-116 mg/100g, 29-80 mg/100g odpowiednio dla pomidorów, pomarańczy i kiwi [12]. Witamina C występuje także w produktach pochodze-

nia zwierzęcego, m.in. wątrobie cieląt, owiec, świń i kurczaków w ilości 200-450 mg/kg świeżej masy materiału. Wykryto obecność witaminy C w nerkach wymienionych zwierząt o połowę mniej niż w wątrobie oraz w krowim mleku 10-24 mg/l. Na dostarczenie do organizmu człowieka określonej zawartości witaminy C nie ma wpływu jego wiek i płeć [9,43], natomiast występuje korelacja między spożyciem witaminy a stężeniem w osoczu zależna od masy ciała, palenia tytoniu, stosowania suplementów diety, technik przetwórstwa żywności i stanu zdrowia [9,38]. Ponadto, witamina C, jako bioaktywny składnik żywności ma wpływ na stabilność genomu, podobnie jak mutageny obecne w żywności, tj. aflatoksyny, aminy heterocykliczne, czy policykliczne węglowodory aromatyczne [38]. Witamina C ma zdolność do fizjologicznej odpowiedzi organizmu na składniki pokarmowe [13].

SUPLEMENTACJA DOUSTNEJ POSTACI WITAMINY C

Suplementacja doustnej postaci witaminy C jest dopuszczalna, gdy ilość dostarczonego z pożywieniem nutriceutyku jest niewystarczająca (70 μ mol/l) [23]. Dotyczy to zwłaszcza osób przewlekle chorych m.in. na nadciśnienie tętnicze [49], nowotwory [23], czy cukrzycę [52]. Podanie doustne witaminy C pozwala dostarczyć 200 mg, co odpowiada 220 μ mol/l w osoczu krwi po 8 godzinach od jej zażycia. Podanie dawek powyżej 200 mg jest możliwe dożylnie, a stężenie witaminy C w osoczu krwi w porównaniu do podania doustnego wynosi 15000 μ mol/l [12]. Witamina C może być dodawana do soku pomidorowego w dawce 300 mg w celu zabezpieczenia frakcji LDL przed utlenieniem. Połączenie diety zawierającej likopen z suplementacją witaminy C pozwala zwiększyć stężenie kwasu askorbinowego do 500 mg [52]. Istnieje możliwość poprawy stabilności witaminy C wobec tlenu, światła, jonów metali i ciepła oraz dostarczenie dawki terapeutycznej przez nanoenkapsulację z tlenkiem cynku. W wyniku nanoenkapsulowania, czyli powlekania witaminy C wewnątrz nanowarstwy tlenku cynku otrzymano nanokapsułkę zbudowaną z rdzenia z ujemnie naładowaną cząsteczką witaminy C i dodatnio naładowanego tlenku cynku i otoczki silikonowej. Potwierdzono taką samą aktywność biologiczną transdermalnej witaminy C (Vitabrid-C) i L-askorbinianu sodu w dawce 100 mg oraz lepszą penetrację przezskórną i stabilność w środowisku wodnym pudru Vitabrid-C [54]. Ponadto, można zapewnić przedłużone uwalnianie witaminy C i dostarczenie większej dawki otrzymując liposomy z askorbinianem. Badania potwierdziły stałe uwalnianie witaminy C po 6 godzinach od zażycia dawki 36 mg, co odpowiada stężeniu 400 μ M w osoczu krwi [10]. Na rynku farmaceutycznym są dostępne preparaty witaminy C: witamina C bez dodatków (100-1000 mg), z rutozydem (60-300 mg), w preparatach wielowitaminowych (60 mg), w lekach stosowanych w grypie (30-240 mg) oraz w tabletkach do ssania od bólu gardła (20-100 mg). W tabeli 1 przedstawiono nazwy i postać preparatów witaminy C [39]. Stosowanie dawek syntetycznej witaminy powyżej 2000

Tabela 1: Komercyjnie dostępne na rynku farmaceutycznym preparaty witaminy C [39]

Nazwa preparatu	Postać witaminy C
Preparaty proste	
Additiva Vitamina C	Tabletki musujące
Ascorgem	Krople doustne
Cebion	Krople doustne
Cetebe	Kapsułki o przedłużonym uwalnianiu
Cevikap	Krople doustne
Juvit	Krople doustne
Linamon	Tabletki powlekane
Rutina C Forte	Tabletki drażowane
Vicefar 500	Tabletki
Vita-Gem C	Proszek musujący
Vitaminum C	Tabletki drażowane, tabletki powlekane, roztwór do wstrzykiwań
Vitaminum C forte effervesces	Proszek musujący
Witamina C monovitan	Tabletki drażowane
Preparaty złożone	
Rutovit C	Tabletki powlekane

mg/dobę powoduje powstanie kamieni nerkowych i zaburzeń ze strony układu pokarmowego [25].

DEGRADACJA WITAMINY C A RODZAJ CZYNNIKA

Witamina C ulega degradacji w wyniku temperatury, w obecności i nieobecności tlenu, enzymów, w wyniku przetworstwa żywności. W przypadku wpływu temperatury istotna jest postać występowania witaminy C w produktach oraz rodzaj produktu. Na przykład stwierdzono szybszą degradację witaminy C w mleku, niż w sokach owocowych oraz 2-3-krotnie zwiększony postęp degradacji w chlebie w porównaniu do otrębów, płatków ziemniaczanych, suszonych jabłek. Minimalne różnice w ilości kwasu askorbinowego obserwowano w próbkach napojów przechowywanych przez 3 miesiące w temperaturze 4-6°C, dla których spadek zawartości wyniósł z 65 mg/100 ml do 44 mg/100 ml [47]. Podwyższona temperatura może zwiększać działanie antyoksydacyjne witaminy C. Badania procesu fermentacji białej kapusty potwierdziły spadek aktywności antyoksydacyjnej po 4 godzinach gotowania, a następnie degradację termiczną w wyniku nieenzymatycznego brązowienia. Prawdopodobnie powstałe produkty reakcji Maillarda, czyli reakcji między grupą karbonylową lub hemiacetalową cukrów redukujących a grupą aminową aminokwasów lub peptydów i dłuższy czas gotowania spowodował częściowe przywrócenie właściwości antyoksydacyjnych witaminy C [20]. Badania degradacji prowadzono także porównując sonifikowany i pasteryzowany sok pomarańczowy. Wyniki wskazują na zwiększenie czasu retencji z 27 dni

do 33 dni dla sonifikowanego soku i spadek czasu retencji z 27 dni do 19 dni dla soku pasteryzowanego termicznie [51]. Degradacja kwasu askorbinowego w czasie ogrzewania zachodzi początkowo w warunkach tlenowych, natomiast wydłużając czas stosowania podwyższonej temperatury dochodzi do spadku stężenia tlenu i degradacji witaminy C w warunkach beztlenowych [7].

Witamina C ogrzewana przez 2 godziny w temperaturze 100°C ulega hydrolizie do 3 głównych produktów degradacji: furfuralu, kwasu 2-furanokarboksylowego, 3-hydroksy-2-pironu. W warunkach tlenowych kwas askorbinowy ulega konwersji przez kwas dehydroaskorbinowy do furfuralu i 3-hydroksy-2-pironu, natomiast w warunkach beztlenowych kwas askorbinowy degradowuje do furfuralu (ryc.1). W niskim pH rzędu 1 głównym produktem degradacji kwasu askorbinowego jest furfural [55]. Stabilność kwasu askorbinowego w produktach roślinnych jest uwarunkowana ilością oksydazy, która różni się w zależności od tego, która część rośliny jest poddawana obróbce. Potwierdzono, że najwięcej enzymu znajduje się w brokułach: dwa razy więcej w liściach niż w łodydze [44]. Proces sterylizacji termicznej produktów zawierających witaminę C lub produktów wzbogaconych kwasem askorbinowym, jak np. mleko i odpowiednia przepuszczalność tlenu przez opakowania ogranicza okres trwałości produktów z witaminą C. Tylko niska temperatura i krótki czas przechowywania może spowolnić degradację witaminy C, denaturację protein i postęp reakcji Maillarda [14]. Do procesów przetwórczych, które nie zmieniają aktywności przeciwutleniającej można zaliczyć blanszowanie, mrożenie i fermentację alkoholową [15]. Dane literaturowe potwierdzają także, że w zależności od stanu skupienia żywności stosowanie różnych technologii może zabezpieczyć zawartość witaminy C. Przykładowo, najlepszą postacią enkapsulacji dla zboża, chleba, herbatników jest chłodzenie rozpryskowe lub w złożu fluidalnym, natomiast dla produktów płynnych najlepszą metodą protekcji witaminy C jest otrzymanie liposomów (ryc.2) [47]. Proces polega na otrzymaniu dyspersji fosfolipidów mleka/soi w wodnym buforze witaminy C z dodatkiem środka bakteriostatycznego. Otrzymana mieszanina jest następnie poddana działaniu wysokiego ciśnienia w mikrofluidyzatorze, co prowadzi do otrzymania liposomów o średnicy 100 nm [11,50]. W przypadku suplementacji witaminy C w doustnej postaci leku występuje degradacja oksydacyjna. W celu zapewnienia stabilności fizykochemicznej tabletek z witaminą C jako stabilizatory hydrofilowe stosuje się polimery o niskiej lepkości, m.in. hypromelozę (HPMC) [35].

METODY OZNACZENIA WITAMINY C W ŻYWNOCI I SUPLEMENTACH

Jedną z metod najczęściej stosowaną w analizie witaminy C jest wysokosprawna chromatografia cieczowa (HPLC). Wykorzystując tę technikę można określić ilość witaminy C w surowych owocach i homogenatach warzyw. Badania potwierdziły stałe stężenia witaminy C

w mandarynkach i soku pomarańczowym i spadek stężenia w pomidorach po 49 tygodniach [37]. Istotnym problemem w analizie kwasu askorbinowego jest możliwość utlenienia do kwasu dehydroaskorbinowego, który jest niestabilny w środowisku wodnym, szczególnie w obecności jonów miedzi i żelaza. Metoda HPLC jest skuteczna w oznaczeniu utlenionej, jak i nieutlenionej witaminy C, jeśli zastosuje się niskie pH poniżej 2,0 i doda czynnik redukujący, tj. tris-[2-karboksy]-fosfinę w kwasie metafosforowym [53]. Ponadto, bez wymienionych substancji można potwierdzić produkty beztlenowej degradacji askorbinianu w warunkach fizjologicznych (pH 7,0, 30°C). Kwas dehydroaskorbinowy (DHA) ulega gwałtownej hydrolizie w pH 7,0 do L-diketogulonianu, natomiast głównym produktem degradacji beztlenowej jest L-erytruloza. Analiza HPLC i chromatografii gazowej (GLC) pozwoliły zidentyfikować badany produkt. Dalsze etapy degradacji prowadzą do przekształcenia L-diketogulonianu do szczawianu, co udowodniono metodą węglowego rezonansu jądrowego (^{13}C NMR) [45]. Ilość witaminy C (kwas askorbinowy, kwas dehydroaskorbinowy) była analizowana metodą spektrofotometryczną w ultrafioletcie. Potwierdzono zawartość witaminy C w owocach i warzywach, odpowiednio na poziomie 10-80 mg/100 g i 16-42 mg/100 g oraz stwierdzono ubytek witaminy C w warzywach liściastych po 2 miesiącach przechowywania w temperaturze 5°C i 10°C [31]. Zawartość witaminy C można określić nie tylko w produktach żywnościowych, ale także w suplementach, np. doustna postać witaminy C była analizowana metodą protonowego rezonansu jądrowego (^1H NMR). Określono zawartość witaminy na poziomie 40,1% [4]

PIŚMIENNICTWO

- [1] Abbaspour N., Hurrell R., Kelishadi R.: Review on iron and its importance for human health. *J. Res. Med. Sci.*, 2014; 19: 164-174
- [2] Boelsma E., Hendriks H.F., Roza L.: Nutritional skin care: health effects of micronutrients and fatty acids. *Am. J. Clin. Nutr.*, 2001; 73: 853-864
- [3] Carr A.C., Bozonet S.M., Vissers M.C.: A randomised cross-over pharmacokinetic bioavailability study of synthetic versus kiwifruit-derived vitamin C. *Nutrients*, 2013; 5: 4451-4461
- [4] Chen C.L., Tian L., Ma X.L., Meng L., Li X.X.: Quantitative determination of vitamin C in vitamin C tablets by proton nuclear magnetic resonance with internal standard method. *China Pharmacy*, 2010; 21: 93-95
- [5] Chen Q., Espey M.G., Krishna M.C., Mitchell J.B., Corpe C.P., Buettner G.R., Shacter E., Levine M.: Pharmacologic ascorbic acid concentrations selectively kill cancer cells: action as a pro-drug to deliver hydrogen peroxide to tissues. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 2005; 102: 13604-13609
- [6] Cheng F., Cappai R., Cicotosto G.D., Svensson G., Multhaup G., Fransson L.A., Mani K.: Suppression of amyloid β A11 antibody immunoreactivity by vitamin C: possible role of heparan sulfate oligosaccharides derived from glypican-1 by ascorbate-induced, nitric oxide (NO)-catalyzed degradation. *J. Biol. Chem.*, 2011; 286: 27559-27572
- [7] Cvetković B.R., Jokanović M.R.: Effect of preservation method and storage condition on ascorbic acid loss in beverages. *Acta Period. Technol.*, 2009; 40: 1-7
- [8] Davey M.W., van Montagu M., Inzé D., Sanmartin M., Kanellis A., Smirnoff N., Benzie I.J., Strain J.J., Favell D., Fletcher J.: Plant L-ascorbic acid: chemistry, function, metabolism, bioavailability and effects of processing. *J. Sci. Food Agric.*, 2000; 80: 825-860
- [9] Dehghan M., Akhtar-Danesh N., McMillan C.R., Thabane L.: Is plasma vitamin C an appropriate biomarker of vitamin C intake? A systematic review and meta-analysis. *Nutrition J.*, 2007; 6: 41
- [10] Duconge J., Miranda-Massari J.R., Gonzales M.J., Jackson J.A., Warnock W., Riordan N.H.: Pharmacokinetics of vitamin C: insights into the oral and intravenous administration of ascorbate. *P. R. Health Sci. J.*, 2008; 27: 7-19
- [11] Farhang B., Kakuda Y., Corredig M.: Encapsulation of ascorbic acid in liposomes prepared with milk fat globule membrane-derived phospholipids. *Dairy Sci. Technol.*, 2012; 92: 353-366
- [12] Ge M., O'Reilly A., Baillie N., Twentyman G., Sturt J., Fitzpatrick M., Taylor T.: Vitamin C: evidence, application and commentary. *NZFP*, 2008; 35: 312-318
- [13] Gętek M., Czech N., Fizia K., Białek-Dratwa A., Muc-Wierżgoń M., Kokot T., Nowakowska-Zajdel E.: Nutrigenomics – bioactive dietary components. *Postępy Hig. Med. Dośw.*, 2013; 67: 255-260
- [14] Gliguem H., Birlouez-Aragon I.: Effects of sterilization, packaging, and storage on vitamin C degradation, protein denaturation, and glycation in fortified milks. *J. Dairy Sci.*, 2005; 88: 891-899
- [15] Gumul D., Korus J., Achremowicz B.: Wpływ procesów przetwor-

PODSUMOWANIE

Suplementacja witaminy C jest korzystna terapeutycznie ze względu na aktywność antyoksydacyjną askorbinianu w reumatoidalnym zapaleniu stawów, cukrzycy typu 2, nadciśnieniu, nowotworach. U osób zdrowych, terapeutyczna dawka witaminy C może być dostarczona z pożywieniem, natomiast powyższej 200 mg jest możliwa przez suplementację syntetycznej witaminy C. W zależności od schorzenia można podać witaminę C różnymi drogami, tj. dożylnie, naskórną i doustnie. Ze względu na niestabilność witaminy C w wysokiej temperaturze, przy obecności tlenu, w trakcie przetwarzania, opracowano metody protekcji kwasu askorbinowego. Zastosowanie niskich temperatur i krótkiego czasu przechowywania, czy sonifikacja zabezpieczają przed spadkiem zawartości witaminy C. Ilości witaminy i produkty degradacji można analizować następującymi metodami: HPLC, GLC, spektrofotometrycznie w ultrafioletcie i magnetycznym rezonansem jądrowym (^1H NMR, ^{13}C NMR). Przedstawione techniki analizy witaminy C mogłyby stanowić element oceny działania antyoksydacyjnego i prooksydacyjnego kwasu askorbinowego oraz pozwoliłyby ustalić optymalną zawartość tego przeciwutleniacza w diecie. Jest to istotne zarówno dla osób zdrowych, u których spożycie określonej dawki witaminy C pełni funkcję protekcyjną przed uszkodzeniami DNA, śródbłonna naczyń, jak i osób przewlekle chorych m.in. na reumatoidalne zapalenie stawów, cukrzycę typu 2 i nowotwory. U osób chorych obrona antyoksydacyjna może być na tyle zaburzona, że konieczna jest suplementacja megadawkami witaminy C.

czych na aktywność przeciwutleniającą surowców pochodzenia roślinnego. *ŻNTJ*, 2005; 4 (Suppl. 1): 41-48

[16] Huang H.Y., Appel L.J., Croft K.D., Miller E.R. 3rd, Mori T.A., Puddey I.B.: Effects of vitamin C and vitamin E on *in vivo* lipid peroxidation: results of a randomized controlled trial. *Am. J. Clin. Nutr.*, 2002; 76: 549-555

[17] Karpińska A., Gromadzka G.: Oxidative stress and natural antioxidant mechanisms: the role in neurodegeneration. From molecular mechanisms to therapeutic strategies. *Postępy Hig. Med. Dośw.*, 2013; 67: 43-53

[18] Konopacka M.: Role of vitamin C in oxidative DNA damage. *Postępy Hig. Med. Dośw.*, 2004; 58: 343-348

[19] Kosson R., Tuszyńska M., Szymczak P.: Effect of harvest time, blanching and freezing on flavonoids content in broccoli. *ZNIO*, 2013; 21: 49-55

[20] Kusznierevicz B., Śmiechowska A., Bartoszek A., Namieśnik J.: The effect of heating and fermenting on antioxidant properties of white cabbage. *Food Chem.*, 2008; 108: 853-861

[21] Lee W.R., Shen S.C., Wang K.H., Hu C.H., Fang J.Y.: Lasers and microdermabrasion enhance and control topical delivery of vitamin C. *J. Invest. Dermatol.*, 2003; 121: 1118-1125

[22] Libby P., Aikawa M.: Vitamin C, collagen, and cracks in the plaque. *Circulation*, 2002; 105: 1396-1398

[23] Lykkesfeldt J., Poulsen H.E.: Is vitamin C supplementation beneficial? Lessons learned from randomized controlled trials. *Br. J. Nutr.*, 2010, 103: 1251-1259

[24] MacKay D., Miller A.L.: Nutritional support for wound healing. *Altern. Med. Rev.*, 2003; 8: 359-377

[25] Mačkowiak K., Torliński L.: Contemporary view on the role of vitamin C in human physiology and pathology. *Nowiny Lekarskie*, 2007; 4: 349-356

[26] Matyska-Piekarska E., Łuszczewski A., Łącki J., Wawer I.: Rola stresu oksydacyjnego w etiopatogenezie reumatoidalnego zapalenia stawów. *Postępy Hig. Med. Dośw.*, 2006; 60: 617-623

[27] May J.M., Qu Z.C.: Ascorbic acid prevents increased endothelial permeability caused by oxidized low density lipoprotein. *Free Radic. Res.*, 2010; 44: 1359-1368

[28] Miktus M.: Ogólna charakterystyka witaminy C. *Nutrition Health*, 2000; 1: 1-4

[29] Miktus M.: Barwy natury – roślinni sprzymierzeńcy witaminy C. *Nutrition Health*, 2010; 13: 1-12

[30] Mikul S., Surabh K., Atul N.: Cosmeceutical for the skin: an overview. *AJPCR*, 2011; 4: 1-6

[31] Mizanur Rahman M., Mizanur Rahman Khan M., Mazedul Hosain M.: Analysis of vitamin C (ascorbic acid) contents in various fruits and vegetables by UV-spectrophotometry. *Bangladesh J. Sci. Ind. Res.*, 2007; 42: 417-424

[32] Montonen J., Knekt P., Järvinen R., Reunanen A.: Dietary antioxidant intake and risk of type 2 diabetes. *Diabetes Care*, 2004; 27: 362-366

[33] Mrowicka M.: The role of disorders of the prooxidant-antioxidant system in diabetes etiology. *Postępy Hig. Med. Dośw.*, 2011; 65: 534-541

[34] Naidu K.A.: Vitamin C in human health and disease is still a mystery? An overview. *Nutr. J.*, 2003; 2: 7

[35] Odeniyi M.A., Jaiyeoba K.T.: Optimization of ascorbic acid tablet formulation containing hydrophilic polymers. *Farmacia*, 2009; 57: 157-166

[36] Padayatty S.J., Katz A., Wang Y., Eck P., Kwon O., Lee J.H., Chen S., Corpe C., Dutta A., Dutta S.K., Levine M.: Vitamin C as an antioxidant: evaluation of its role in disease prevention. *J. Am. Coll. Nutr.*,

2003, 22: 18-35

[37] Phillips K.M., Tarragó-Trani M.T., Gebhardt S.E., Exler J., Patterson K.Y., Haytowitz D.B., Pehrsson P.R., Holden J.M.: Stability of vitamin C in frozen raw fruit and vegetable homogenates. *J. Food Compos. Anal.*, 2010; 23: 253-259

[38] Pieszka M., Pietras M.P.: Nowe kierunki w badaniach żywieniowych – nutrigenomika. *Rocz. Nauk. Zoot.*, 2010; 37: 83-103

[39] Podlewski J.K., Chwalibogowska-Podlewska. *Encyklopedia dla lekarzy i farmaceutów. Leki współczesnej terapii*, Medical Tribune Polska Sp. z o.o. Warszawa 2009

[40] Podśędek A.: Natural antioxidants and antioxidant capacity of *Brassica* vegetables: a review. *LWT – Food Sci. Technol.*, 2007; 40: 1-11

[41] Przybyszewski W.M., Kasperczyk J., Stokłosa K., Bkhiyan A.: DNA damage induced by products of lipid peroxidation. *Postępy Hig. Med. Dośw.*, 2005; 59: 75-81

[42] Rosołowska-Huszcz D.: Antyoksydanty w profilaktyce i terapii cukrzycy typu II. *ŻNTJ*, 2007; 14: 62-70

[43] Scientific Opinion on the safety and efficacy of vitamin C (ascorbic acid, sodium ascorbate, calcium ascorbate, ascorbyl palmitate, sodium calcium ascorbyl phosphate and sodium ascorbyl phosphate) as a feed additive for all animal species based on a dossier submitted by DSM Nutritional Products Ltd. EFSA Panel on Additives and Products or Substances used in Animal Feed (FEEDAP). *EFSA J.*, 2013; 11: 1-36

[44] Shimada Y., Ko S.: Ascorbic acid and ascorbic acid oxidase in vegetables. *Chugokugakuen J.*, 2008; 7: 7-10

[45] Simpson G.L., Ortwerth B.J.: The non-oxidative degradation of ascorbic acid at physiological conditions. *Biochim. Biophys. Acta*, 2000; 1501: 12-24

[46] Sroka Z., Gamian A., Cisowski W.: Low-molecular antioxidant compounds of natural origin. *Postępy Hig. Med. Dośw.*, 2005; 59: 34-41

[47] Steskova A., Morochovicova M., Leskova E.: Vitamin C degradation during storage of fortified foods. *J. Food Nutr. Res.*, 2006; 45: 55-61

[48] Sweetman S.F., Strain J.J., McKelvey-Martin V.J.: Effect of antioxidant vitamin supplementation on DNA damage and repair in human lymphoblastoid cells. *Nutr. Cancer*, 1997; 27: 122-130

[49] Szymańska-Pasternak J., Janicka A., Bober J.: Vitamin C as a weapon against cancer. *Onkol. Prak. Klin.*, 2011; 7: 9-23

[50] Thompson A.K., Haisman D., Singh H.: Physical stability of liposomes prepared from milk fat globule membrane and soya phospholipids. *J. Agric. Food Chem.*, 2006; 54: 6390-6397

[51] Tiwari B.K., O' Donnell C.P., Muthukumarappan K., Cullen P.J.: Ascorbic acid degradation kinetics of sonicated orange juice during storage and comparison with thermally pasteurised juice. *LWT – Food Sci. Technol.*, 2009; 42: 700-704

[52] Upritchard J.E., Sutherland W.H., Mann J.I.: Effect of supplementation with tomato juice, vitamin E, and vitamin C on LDL oxidation and products of inflammatory activity in type 2 diabetes. *Diabetes Care*, 2000; 23: 733-738

[53] Wechtersbach L., Cigić B.: Reduction of dehydroascorbic acid at low pH. *J. Biochem. Biophys. Methods*, 2007; 70: 767-772

[54] Yang J.H., Lee S.Y., Han Y.S., Park K.C., Choy J.H.: Efficient transdermal penetration and improved stability of L-ascorbic acid encapsulated in an inorganic nanocapsule. *Bull. Korean Chem. Soc.*, 2003; 24: 499-503

[55] Yuan J.P., Chen F.: Degradation of ascorbic acid in aqueous solution. Your current credentials do not allow retrieval of the full text. *J. Agric. Food Chem.*, 1998, 46: 5078-5082

Autorka deklaruje brak potencjalnych konfliktów interesów.