

Određivanje i usporedba sadržaja vitamina C u odabranom voću i voćnim prerađevinama

Maligec, Cristina

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Department of Chemistry / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za kemiju**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:182:127941>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-19**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Department of Chemistry, Osijek](#)



Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Odjel za kemiju

Preddiplomski studij kemije

Cristina Maligec

**Određivanje i usporedba sadržaja vitamina C u odabranom voću i voćnim
prerađevinama**

Završni rad

Mentor: doc. dr. sc. Ana Amić

Osijek, 2021.

SAŽETAK

Vitamin C, (5*R*)-[(1*S*)-1,2-dihidroksietil]-3,4-dihidroksifuran-2(5*H*)-on, je vrlo snažan antioksidans prisutan u voću i povrću te sastojak brojnih suplemenata. Bitan je za rad imunološkog sustava koji stimulira aktivnost leukocita te povećava koncentraciju interferona. Povećana koncentracija interferona rezultira lučenjem hormona prsne žlijezde i stvaranjem antitijela. Sudjeluje u metabolizmu masnih kiselina te sintezi karnitina i kolagena. Također, pomaže u oblikovanju eritrocita, sudjeluje u apsorpciji željeza i transformaciji folne kiseline u njezin aktivni oblik, 5-metiltetrahidrofolnu kiselinu. U svježem voću i povrću nalazi se najveća koncentracija vitamina C, a obradom namirnica dolazi do smanjenja njegove koncentracije jer je lako topljiv u vodi, fotosenzibilan i podložan oksidaciji. Iznimno je nestabilan te gubi svoje karakteristike i smanjuje mu se koncentracija pri visokim temperaturama (termički raspad vitamina C) i dugotrajnim skladištenjem. U ovom radu, jodometrijska titracija je upotrijebljena za ispitivanje efekta skladištenja i vrste obrade na koncentraciju askorbinske kiseline u voću i voćnim prerađevinama. Metoda je jednostavna i praktična za brzo određivanje vitamina C. Dobivene vrijednosti uspoređene su s USDA bazom podataka kako bi utvrdili koliko je korištena metoda primjenjiva u tu svrhu. Metoda je dobra u našem slučaju ako su otopine uzorka svijetlijih boja te je onda lako uočljiva promjena boje otopine u tamno plavu. Kod uzoraka tamnijih boja je teže odrediti završnu točku titracije. Rezultati ovog istraživanja ukazuju da je sadržaj vitamina C mnogo manji u voćnim prerađevinama nego u svježem voću. Smanjenje sadržaja vitamina C u biljnim materijalima uzrokuje priprema, termička obrada i dugotrajno skladištenje hrane.

Ključne riječi: vitamin C, voće, voćne prerađevine, jodometrijska titracija

ABSTRACT

Vitamin C, (5R)-[(1S)-1,2-dihydroxyethyl]-3,4-dihydroxyfuran-2(5H)-one, is a very powerful antioxidant present in fruits and vegetables and an ingredient in many supplements. It is important for the work of the immune system, which stimulates the activity of leukocytes and increases the concentration of interferon. Increased interferon concentrations result in the secretion of thymus hormones and the production of antibodies. It participates in the metabolism of fatty acids and the synthesis of carnitine and collagen. It also helps in the formation of erythrocytes, participates in the absorption of iron and the transformation of folic acid into its active form, 5-methyltetrahydrofolic acid. Fresh fruits and vegetables have the highest concentration of vitamin C, and food processing reduces its concentration because it is easily soluble in water, photosensitive and susceptible to oxidation. It is extremely unstable and loses its characteristics and its concentration decreases at high temperatures (thermal decomposition of vitamin C) and long-term storage. In this paper, iodometric titrations were used to determine the effect of storage and type of processing on the concentration of ascorbic acid in fruits and fruit products. The method is simple and practical for the rapid determination of vitamin C. The values collected were compared with the USDA database to determine how applicable used method was for that purpose. The method is good in our case if the sample solutions are lighter in colour so the colour change to dark blue is easily noticeable. For darker coloured samples, it is more difficult to determine the end point of the titration. The results of this study indicate that the content of vitamin C is much lower in fruit products than in fresh fruit. Reduction of vitamin C content in plant materials is caused by preparation, heat treatment and long-term storage of food.

Key words: vitamin C, fruits, fruit products, iodometric titration

Sadržaj

1. Uvod	1
2. Literaturni pregled	3
2.1. Kratki pregled osnovnih karakteristika i biološkog značaja vitamina C	3
2.1.1. Struktura, svojstva i biokemija vitamina C	3
2.1.2. Dnevne potrebe, izvori i metabolizam vitamina C	5
2.1.3. Posljedice deficita, suficita i toksičnost vitamina C	7
2.2. Kratki pregled metoda određivanja sadržaja vitamina C	8
3. Materijal i metode	10
3.1. Ispitivani biljni materijal	10
3.2. Kemikalije i pribor	11
3.3. Priprema uzoraka biljnog materijala	12
3.4. Priprema otopina i postupak određivanja sadržaja vitamina C	12
3.5. Izračun sadržaja vitamina C u uzorcima	13
4. Rezultati i rasprava	14
5. Zaključak	22
6. Literaturna vrela	23

1. Uvod

Organski spoj vitamin C sastoji se od kemijski aktivnog oblika *L*-enantiomera askorbinske kiseline (engl. *L-ascorbic acid*, LAA) i oksidiranog derivata dehidroaskorbata. U prirodi mogu se pronaći i *L*- i *D*-askorbinska kiselina, a u istraživanjima se samo koristi *L*-oblik zbog svoje biološke aktivnosti. Askorbinska kiselina, ranije poznata kao heksuronska kiselina, slaba je šećerna kiselina kemijske formule $C_6H_8O_6$. Strukturno je građena od pet ugljikovodika spojenih u prsten. Ion askorbata ako je spojen na vodikov ion tvori askorbinsku kiselinu, a ako je spojen na metalni ion tvori mineralni askorbat. Suplementi vitamina C sastoje se od askorbinske kiseline i mineralnih askorbata [1].

Otkriće vitamina C započinje pojavom bolesti skorbut. Karakterizirana je anemijom, lošim apetitom, osjećajem umora, krvavim desnama, krvarenjem ispod kože, gubitkom tjelesne mase, slabosti mišića, sekundarnim infekcijama, bolovima u zglobovima i mišićima, poremećenim zacjeljivanjem rana i vezivnog tkiva [1]. Skorbut je u 18. stoljeću bio veliki problem među mornarima jer na duža putovanja nisu nosili hranu bogatu C vitaminom. Liječnik James Lind 1747. godine otkriva da konzumacija svježih agruma može spriječiti skorbut. Dr. Albert Szent Goyrgi dobio je 1937. godine Nobelovu nagradu za svoj rad na izolaciji vitamina C iz crvene paprike i identificiranje njene uloge u etiologiji skorbuta [2].

Ljudi nemaju enzim *L*-gulono- γ -lakton-oksidazu (GULO) koji je potreban za *in vivo* sintezu vitamina C iz glukoze. Stoga vitamin C moraju unositi putem prehrane kako bi organizam mogao normalno obavljati brojne metaboličke funkcije. Vrlo je bitan i potreban za zdravlje i za rekonstrukciju različitih tkiva, uključujući kožu, kosti, zube i hrskavicu. Pomaže tijelu u apsorpciji željeza i u oporavku od opekline i rana. Kontinuirani nedostatak vitamina C može dovesti do skorbuta, a sam nedostatak vitamina C može se liječiti dodacima vitamina C i prehranom bogatom vitaminom C [1].

Budući da tijelo vrlo brzo apsorbira vitamin C te on u vrlo kratkom vremenskom roku nestaje iz tijela, potrebno ga je redovito uzimati. Ako se premaše dopuštene doze vitamina C može doći do pojave migrena, nesanica i nelagoda u želucu i crijevima. Najveća koncentracija vitamina C može se pronaći u svježem voću i povrću. Što se tiče voća, prisutan je u limunu, papaji, mandarini, limeti, kupini, malini, guavi, kiviju, grejpu, jagodi i naranči, a u povrću u rajčici, krumpiru, mrkvi, špinatu, kupusu, brokuli i paprici [3]. Posljedica obrade namirnica koje sadrže vitamin C je smanjenje njegova sadržaja. Jedan od razloga je taj što je dobro topljiv u vodi te samim ispiranjem i kuhanjem voća ili povrća dolazi do otpuštanja vitamina u

vodu. Dugotrajnim skladištenjem se također smanjuje njegov sadržaj zbog toga što je vitamin C fotosenzibilan i sklon oksidaciji [1].

Glavni cilj ovog rada bio je utvrditi sadržaj vitamina C u odabranom voću i voćnim prerađevinama titracijom s otopinom joda i škrobom kao indikatorom, usporediti dobivene vrijednosti s literaturno dostupnim vrijednostima te utvrditi koliko je korištena metoda zapravo dobra za određivanje sadržaja vitamina C u korištenim namirnicama.

Prvi dio rada prikazuje kratki pregled osnovnih karakteristika i biološkog značaja vitamina C. Pojašnjena je biosinteza askorbinske kiseline kao i struktura i biokemijska svojstva vitamina C. Navedene su preporučene dnevne doze unosa vitamina C, opisan je metabolizam te su navedeni prirodni izvori vitamina C. Također, navedene su posljedice deficita, suficita i toksičnost vitamina C. Drugi dio rada, poglavlje Materijal i metode, opisuje ispitivani biljni materijal, korištene kemikalije i pribor. Opisana je priprema uzoraka i otopina te postupak jodometrijskog određivanja koncentracije vitamina C. U poglavlju Rezultati i rasprava, rezultati istraživanja predloženi su na slikama koje uspoređuju eksperimentalne vrijednosti s USDA bazom podataka (engl. *United States Department of Agriculture National Nutrient Database*). Rezultati su prodiskutirani i izvučeni su glavni zaključci. Utvrđeno je kako se sadržaj vitamina C znatno razlikuje u svježem voću i voćnim prerađevinama. U voćnim prerađevinama prisutne su minimalne koncentracije vitamina C zbog posljedica dugotrajnog skladištenja, kuhanja i ispiranja. U smrznutom voću su također zabilježene niske vrijednosti vitamina C.

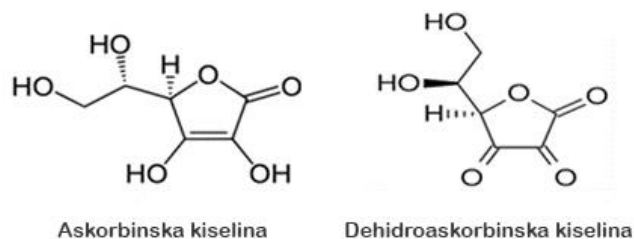
2. Literaturni pregled

2.1. Kratki pregled osnovnih karakteristika i biološkog značaja vitamina C

2.1.1. Struktura, svojstva i biokemija vitamina C

Vitamin C ili *L*-askorbinska kiselina, drugih kemijskih naziva askorbat i antiskorbutski vitamin, sastoji se od šest asimetričnih ugljika čija struktura sličí molekuli glukoze. Postoje dva kemijska oblika vitamina C, reducirani oblik (askorbinska kiselina; AA) i oksidirani oblik (dehidroaskorbinska kiselina; DHA) (Slika 1.). Sama struktura vitamina C definira njezina kemijska i fizikalna svojstva. Relativna molekulska masa vitamina C iznosi 176 g/mol a točka taljenja 190-192 °C [4]. Njegova gustoća približno iznosi 1,65 g/cm³. Pri sobnoj temperaturi vitamin C je vrlo dobro topljiv u vodi (300 g/L), slabo topljiv u alkoholu (20 g/L) te netopljiv u benzenu, kloroformu i eteru. U vodi tvori bezbojnu do svijetlo žutu otopinu koja brzo oksidira. Ima dvije vrijednosti pK_a, 4,2 i 11,6, dok vodena otopina vitamina C (w = 5 %) ima pH 2,2-2,5. U krutom stanju formira kristalni prah bijele do svijetlo žute boje te je na suhom poprilično stabilan [5].

Veliki broj životinja sposoban je sintetizirati vitamin C pomoću enzima koji transformiraju monosaharid glukozu u askorbinsku kiselinu [6]. U biljaka dolazi do pretvorbe monosaharida galaktoze ili manoze u askorbinsku kiselinu. Ljudi i neke životinje ne mogu sintetizirati vitamin C jer ne posjeduju enzim GULO, koji sudjeluje u završnom koraku biosinteze askorbinske kiseline [8].

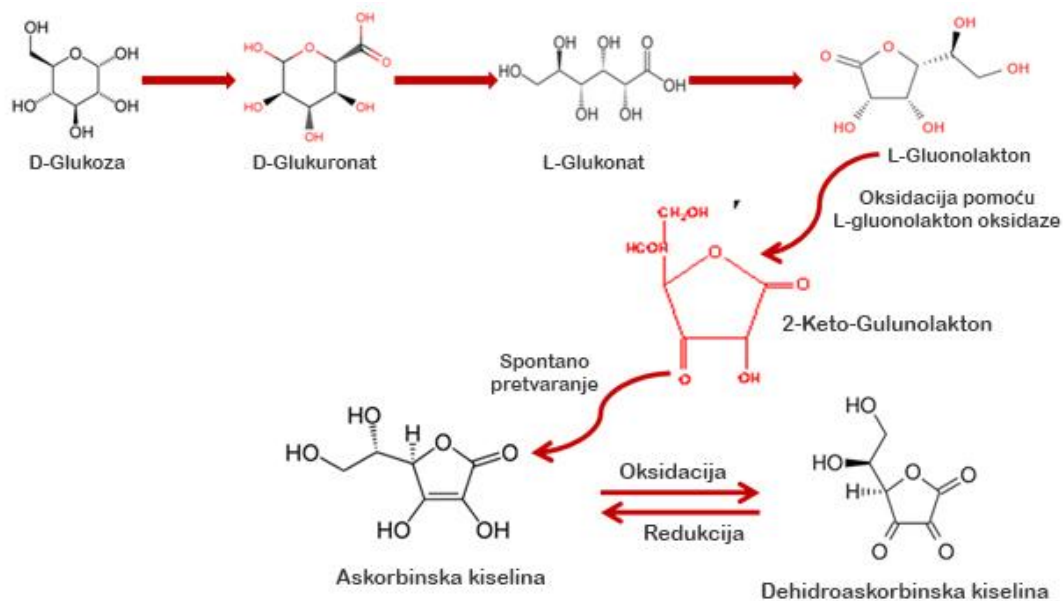


Slika 1. Struktura askorbinske i dehidroksiaskorbinske kiseline [7].

Biosinteza vitamina C u sisavaca kreće nastajanjem UDP-glukuronske kiseline koja se formira kada UDP-glukoza prođe kroz dva uzastopna procesa oksidacije pomoću enzima

UDP-glukoza 6-dehidrogenaze [9]. Enzim, kao akceptor elektrona, koristi kofaktor NAD^+ . Zatim enzim transferaza UDP-glukuronat pirofosforilaza eliminira UMP te glukuronokinaza uz pomoć ADP-a eliminira fosfat što rezultira nastajanjem *D*-glukuronske kiseline [10]. Enzim glukuronat reduktaza, uz pomoć NADPH, katalizira redukciji aldehidne skupine *D*-glukuronske kiseline u primarni alkohol dajući novi spoj, l-gulonsku kiselinu. Uz pomoć hidrolaze glukonolaktonaze dolazi do nastajanja l-gulonolaktona između C1 karbonilne skupine i C4 hidroksilne skupine. Zatim lakton stupa u reakciju s kisikom koju katalizira enzim GULO i FAD^+ . Oksidacijom nastaje spoj 2-keto-gulonolakton koji spontano prolazi kroz proces enolizacije te time nastaje askorbinska kiselina [11].

Vitamin C je vrhunsko redukcijsko sredstvo koje nakon dvije uzastopne oksidacije stvara radikal askorbat. U procesu oksidacije, askorbat gubi elektron te nastaje kationski radikal te gubitkom sljedećeg elektrona oksidira u dehidroaskorbinsku kiselinu (DHA). Oksidirani askorbat je inače nereaktivan te ne izaziva oštećenja u stanici [12].



Slika 2. Biosinteza i pretvorba vitamina C u DHA [13].

Biološka uloga askorbinske kiseline je važna u oksidacijsko-redukcijskim procesima, koagulaciji krvi, regeneraciji tkiva, građi steroidnih hormona, pretvaranju folne u tetrafolnu kiselinu i aktivaciji mnogih enzima. Askorbinska kiselina ima važnu koenzimsku ulogu u sintezi kolagena [10]. Povećava hidroksilaciju prolina i lizina u hidroksiprolin, odnosno hidroksilizin [11], čime dolazi do pravilnog umrežavanja ovih aminokiselina što rezultira

stabilnim trostrukim spiralnim oblikom kolagena. Trostruka zavojnica kolagena pruža stabilnost ovojnici koja okružuje tumorsku masu te time sprječava daljnje metastaziranje tumora [13].

Vitamin C djeluje na funkciju središnjeg živčanog sustava, stimulira funkciju endokrinih žlijezda, sudjeluje u sintezi prokolagena, pojačava funkciju jetre i omogućava apsorpciju željeza [13]. Askorbinska kiselina pospješuje povećanje proizvodnje limfocita što jača imunološki sustav. Van Gorkom i sur. (2018) proučavali su *in vitro* učinak vitamina C na jačanje proizvodnje limfocita u tijelu. Studija je otkrila da je askorbinska kiselina potrebna za razvoj i funkciju T stanica. Utvrđeno je da vitamin C poboljšava proliferaciju stanica ubojica ili NK stanica (engl. *Natural Killer*) [14].

Jedna od iznimno važnih uloga vitamina C je i njegova antioksidacijska aktivnost. Vitamin C može pomoći u zaštiti drugih vitamina (vitamina A i E) od štetnih utjecaja oksidacije. Ovaj vitamin može eliminirati reaktivne kisikove vrste, pa kao kofaktor sudjeluje u procesima u kojima je potreban reducirani metaloenzim sa željezom ili bakrom [13].

Askorbinska kiselina umanjuje kardiotoksičnost doksorubicina (citostatik) i sinergizira antikancerogeno djelovanje lijekova poput adriamicina, paklitaksela, cisplatina, tamoksifena i dakarbazina. Vitamin C poboljšava djelovanje citostatika i poboljšava imunitet, proces detoksikacije, obnavljanje tkiva i ublažava kardiotoksičnosti lijekova te smanjuje vjerojatnost recidiva [13].

Vitamin C ublažava posljedice astme i bronhitisa zbog toga što pojačava funkciju prostaglandina PGE2 koji rezultira širenjem bronhija. Višegodišnja istraživanja ukazuju na to da se kod astmatičara smanjuje nivo vitamina C u organizmu, pa je stoga neophodno unositi dodatne doze ovog vitamina [15]. Kod muškaraca pomaže u liječenju neplodnosti koja je uzrokovana aglutinacijom spermatozoida, pri čemu je spermatozoid nesposoban prodrijeti u jajnu stanicu. Naime, vitamin C povećava apsorpciju cinka, magnezija, bakra i kalija koji su neophodni za normalno funkcioniranje spermatozoida [16].

2.1.2. Dnevne potrebe, izvori i metabolizam vitamina C

Prirodni izvori askorbinske kiseline su voće i zeleno povrće. Prema USDA bazi podataka najveću koncentraciju askorbinske kiseline sadrži egzotično voće *camu camu* (*Myrciaria dubia*) i to 4800 mg u 100 g ploda. Obični mogranj ili nar (*Punica granatum* L.) sadrži 28 mg vitamina C u 100 g ploda. Barbadoska trešnja poznata kao acerola (*Malpighia emarginata* DC.) sadrži i do čak 1680 mg askorbinske kiseline u 100 g ploda. Također, visok

sadržaj vitamina C može se pronaći i u aroniji (*Aronia melanocarpa* Elliott), acai bobicama (*Euterpe oleracea* Mart.) i agrumima [3].

Dnevne potrebe za vitaminom C prema Uredu za prehrambene dodatke Sjedinjenih Američkih Država (engl. *United States Office of Nutritional Supplements*) prikazane su u Tablici 1. Preporučene dnevne doze vitamina C ovise o zdravstvenom stanju, spolu i dobi pojedinca. Dnevni unosi vitamina C za mušku i žensku dojenčad te djecu su jednake, dok se dnevne vrijednosti razlikuju kod adolescenata. Dozvoljena gornja granica dnevnog unosa askorbinske kiseline za odrasle osobe iznosi 2000 mg dnevno [17].

Tablica 1. Preporučene dnevne doze vitamina C prema Uredu za prehrambene dodatke Sjedinjenih Američkih Država [17].

Dob	Preporučene dnevne doze
Do 6 mjeseci	40 mg
7-12 mjeseci	50 mg
1-3 godine	15 mg
4-8 godina	25 mg
9-13 godina	45 mg
14-18 godina	75 mg (muškarci) 65 mg (žene)
19 godina i više	90 mg (muškarci) 75 mg (žene)

Pušenje povećava oksidacijski stres te se potreba za vitaminom povećava za 35 mg/dan. Aktivni sportaši mogu uzimati i 2-12 g dnevno [18].

Apsorpcija vitamina C započinje u gornjem dijelu probavnog trakta aktivnim transportom ovisnom o natriju. Prisutnost visokih koncentracija glukoze u krvi ili crijevima može otežati apsorpciju. Ako se vitamin C svakodnevno unosi dolazi do apsorpcije između 70-95 %, pritom što je viša koncentracija vitamina C to je manja apsorpcija [19]. Pri visokim koncentracijama askorbinske kiseline (oko 12 g), apsorpcija je poprilično niska (do 16 %). Pri koncentracijama askorbinske kiseline manjim od 20 mg, apsorpcija dostiže vrlo visoke vrijednosti do čak 98 % [20].

Koncentracija dehidroaskorbinske kiseline u plazmi je niska jer eritrociti reduciraju dehidroaskorbinsku kiselinu u askorbat. Zatim askorbat olakšanom difuzijom izlazi iz

eritrocita, putuje krvlju i ulazi u stanice uz pomoć prijenosnika ovisnih o natriju. Zatim slijedi stanični metabolizam *L*-askorbinske kiseline koja ima ulogu intermedijera u gulonolaktonskom putu metabolizma glukuronske kiseline. Na putu dolazi do reverzibilne oksidacije aktivnog oblika dehidroaskorbinske kiseline. Bitnu ulogu ima glutathion bez kojeg se dehidroaskorbat ne može transformirati u askorbat [21].

L-askorbinska kiselina se izlučuje iz organizma putem mokraće u obliku raznovrsnih metabolita (oksalat, dehidroaskorbat, askorbat-2-sulfat i 2,3-diokso-*L*-gulonat). Askorbat se reapsorbira u bubrežima [22].

2.1.3. Posljedice deficita, suficita i toksičnost vitamina C

Simptomi skorbuta mogu se početi pojavljivati nakon 8 do 12 tjedana. Rani znakovi uključuju gubitak apetita, gubitak kilograma, umor, razdražljivost i letargiju. Unutar 1 do 3 mjeseca javljaju se različiti znakovi: anemija, mialgija, bolovi u kostima, otekline ili edemi, petehije ili male crvene mrlje nastale krvarenjem ispod kože, bolesti desni i gubitak zuba, loše zacjeljivanje rana, otežano disanje te promjene raspoloženja i depresija. Dojenčad sa skorbutom postat će tjeskobna i razdražljiva te mogu osjećati bol zbog kojeg zauzimaju položaj žabljih nogu. U današnje doba bolest je najviše prisutna kod ljudi koji imaju problema s anoreksijom, restriktivnim dijetama, pretjeranom konzumacijom alkohola i droga, pušenjem i sl. [17].

Toksičnost askorbinske kiseline je rijedak slučaj pošto je topljiva u vodi i lako se izlučuje iz tijela. Dnevne doze vitamina C preko 2 ili više grama dovode do ozbiljnih gastrointestinalnih tegoba. Najčešći simptom je bol i peckanje pri mokrenju, dok su češći simptomi osip, dijareja i bolovi u trbuhu. Svakodnevno korištenje vitamina C, i to čak par grama na dan, kod nekih ljudi može rezultirati pojavom proljeva. Visoke količine askorbinske kiseline imaju sposobnost prisvojiti bakar u organizmu te kako ne bi došlo do problema, preporučuje se naknadno unošenje bakra. Pošto askorbinska kiselina pospješuje asporpciju željeza, visoke doze vitamina trebaju izbjegavati ljudi koji boluju od nekontroliranog nagomilavanja željeza (hemosideroza, hemokromatoza, talasemija) jer bi moglo doći do trovanja željezom. Osobe koje boluju od bubrežnih kamenaca ili su njima sklone trebaju eliminirati suplemente s C vitaminom jer se u organizmu askorbinska kiselina transformira u oksalat i time povećava razinu oksalata u mokraći. Uzimanje visokih doza vitamina C i u kombinaciji s aspirinom može rezultirati pojavom ventrikularni ulkus i erozivni gastritis. Simptomi koji upućuju na trovanje askorbinskom kiselinom, tj. hipervitaminozu, su mučnina,

proljevi, plinovi, glavobolja, nesvjestica, gastritis, grčevi u želudcu, bubrežni kamenci, žgaravica, često uriniranje, povraćanje i groznica [23].

2.2. Kratki pregled metoda određivanja sadržaja vitamina C

Metode koje se upotrebljavaju kako bi se odredila koncentracija vitamina C (*L*-askorbinske kiseline i dehidroaskorbinske kiseline) podijeljene su u dvije skupine: kolorimetrijski postupci i oksidometrijske titracije. Oksidometrijske titracije vitamina C temelje se na snažnim redukcijskim karakteristikama endiolne skupine, tj. na oksidaciji *L*-askorbinske kiseline u dehidroaskorbinsku kiselinu i redukciji korištenog reagensa. Oksidacijska sredstva koja se upotrebljavaju su metilensko plavo, kloramin, 2,6-diklorfenolindofenol i dr. Metoda je brza i efikasna, ali nije strogo specifična jer sa spomenutim reagensima, izuzev vitamina C, stupaju u reakciju razni drugi prirodni spojevi koji sadržavaju redukcijske karakteristike (tanini, glutation, sulfidi, cistein, sulfiti, glukoreduktion te metali poput bakara(I), željeza(II) i kositra(II)). Najčešće korištena metoda za određivanje sadržaja askorbinske kiseline u voću i voćnim prerađevinama je titracija s 2,6-diklorfenolindofenolom [24].

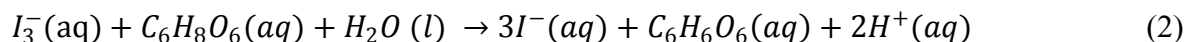
Kolorimetrijski postupci zasnivaju se na definiranju intenziteta karakterističnog reagensa koji s askorbinskom kiselinom daje specifično obojenje. U spomenutoj metodi askorbinska kiselina se oksidira u dehidroaskorbinsku kiselinu. Dehidroaskorbinska kiselina se zatim određuje s reagensom 2,4-dinitrofenilhidrazinom te zajedno tvore crveno obojenje otopine. Smetnje prilikom navedene reakcije mogu uzrokovati karbonilni spojevi i šećeri. Obično se spomenute metode baziraju na UV apsorpcijskom spektru određenom putem spektrofotometrije. Kolorimetrijska metoda nije striktno selektivna zbog upletanja raznih faktora na apsorpciju te se koristi vrlo rijetko [24].

Najpouzdanija metoda koja se upotrebljava za određivanje vitamina C u voću je tekućinska kromatografija visoke djelotvornosti (engl. *High Performance Liquid Chromatography*, HPLC). Metoda je izrazito brza, osjetljiva, precizna i ponovljiva što rezultira većom točnošću dobivenih rezultata [24].

Ovdje korištena metoda određivanja sadržaja vitamina C je volumetrijska titracija vodenom otopinom joda. Budući da je jod u vodi slabo topljiv, vodenoj otopini se dodajte kalijev jodid koji pospješuje otapanje joda. Molekula I_2 reagira s I^- dajući trijodid (I_3^-) prema jednačbi (1) [25]:



Koncentracija vitamina C se određuje tako da se uzorcima doda po desetak kapi indikatora škroba te se uzorci titriraju otopinom kalijeva jodida. Tijekom titracije uzroka, trijodid oksidira askorbinsku kiselinu u dehidroaskorbinsku kiselinu prema jednadžbi (2) [25]:



Kada se sva askorbinska kiselina oksidira, jodidni ion u suvišku reagira sa škrobom i tvori kompleks tamnoplave boje. Tamnoplavo obojenje nastaje ugradnjom trijodida u heliks amiloze i predstavlja finalnu točku titracije [25, 26].

Jodometrijska titracija je jednostavna i brza metoda, ali može biti neprecizna te se rezultati mogu razlikovati u ponavljanjima i postoji veća šansa za pogreškom [25].

3. Materijal i metode

3.1. Ispitivani biljni materijal

U ovom radu korišten je svježi, smrznuti i obrađeni voćni biljni materijal. Od voća je korišteno:

- aronija (*Aronia melanocarpa* Elliott; svježa, suhi biljni materijal, vino),
- breskva (*Prunus persica* (L.) Batsch; kompot, sok),
- brusnica (*Vaccinium vitis-idaea* L.; smrznuto, suhi biljni materijal),
- brusnica, divlja (*Vaccinium sp.* L.; sok, džem),
- borovnica (*Vaccinium myrtillus* L.; svježa, suhi biljni materijal),
- borovnica, divlja (*Vaccinium sp.* L.; sok, džem),
- ribiz, crni (*Ribes nigrum* L.; smrznuto, suhi biljni materijal, vino),
- ribiz, crveni (*Ribes rubrum* L.; smrznuto, suhi biljni materijal),
- drenjina (*Cornus mas* L.; suhi biljni materijal, džem),
- dud, bijeli (*Morus alba* L.; suhi biljni materijal),
- dunja (*Cydonia oblonga* Mill.; džem),
- grožđe (*Vitis vinifera* L.; smrznuto Rose grožđe, suhi biljni materijal, vino, aceto balsamico, kožica crnog grožđa),
- groždica, korintska (*Vitis vinifera* L. var. *Apyrena*; suhi biljni materijal),
- goji (*Lycium barbarum* L.; suhi biljni materijal),
- hubiskus (*Hibiscus sabdariffa* L.; suhi biljni materijal),
- jabuka (*Malus domestica* Borkh.; svježe (sorte: Crveni Delicious, Gala, Idared, Jonagold, Pink Cripps), suhi biljni materijal, džem.),
- jagoda (*Fragaria sp.* L.; kompot, suhi biljni materijal, vino),
- kruška (*Pyrus sp.* L.; kompot, sok, džem),
- kupina (*Rubus fruticosus* L.; smrznuto, suhi biljni materijal, vino),
- ogrozd (*Ribes uva-crispa* L., komovica),
- marelica (*Prunus armeniaca* L.; svježa, suhi biljni materijal, džem, kompot),
- malina (*Rubus idaeus* L.; smrznuto, suhi biljni materijal),
- malina, crna (*Rubus sp.* L.; suhi biljni materijal)

- mango (*Mangifera indica* L.; suhi biljni materijal),
- naranča (*Citrus sinensis* L.; suhi biljni materijal),
- ružin šipak (*Rosa canina* L.; suhi biljni materijal),
- šljiva (*Prunus domestica* L.; svježe, sok, suhi biljni materijal, vino, džem pečeni, džem kuhani),
- tayberry (*Rubus fruticosus* x *R. idaeus*; sok, suhi biljni materijal),
- višnja (*Prunus cerasus* L.; kompot, sok, džem, vino),
- višnja, amarena (*Prunus cerasus* L. var *marasca* (Host) Vis.; džem),
- višnja, crna (*Prunus* sp. L.; džem).

Osim navedenog voća i voćnih prerađevina, ispitan je i sadržaj vitamina C u biljna mješavina (šumsko voće), u obliku čaja. Prethodno navedeni suhi materijal naranče i manga se odnosi na čaj, a tim da su ispitana dvije čajne mješavine s narančom – naranča i kurkuma te naranča i breskva. Suhi biljni materijal ispitan je u dva oblika, kao suhi materijal i u obliku čajne infuzije. Sadržaj vitamina C u suhom grožđu ispitan je u dva različita uzorka. Čaj od brusnice je ispitan u dva oblika – domaći i kupovni.

3.2. Kemikalije i pribor

Sve kemikalije korištene u ovom radu su analitičke čistoće, a voda korištena za pripremu otopina je demineralizirana i deionizirana. Popis korištenih kemikalija:

Škrob, $(C_6H_{10}O_5)_n$ ($M = 162.1406$ g/mol, T.T.T. d.o.o., Sveta nedjelja)

Jod, I_2 ($M = 126,9045$ g/mol, T.T.T. d.o.o., Sveta nedjelja)

Kalijev jodid, KI ($M = 166,0028$ g/mol, T.T.T. d.o.o., Sveta nedjelja)

Ultračista voda

U radu je korišten i vitamin C, komercijalno dostupan, proizvođač: dm-drogerie markt GmbH, Karlsruhe.

Od pribora u radu su korištene: staklene čaše (250 mL, 100 mL, 50 mL, 10 mL), odmjerne tikvice (500 mL, 250 mL, 100 mL, 50 mL), Erlenmeyerove tikvice (25 mL), staklena graduirana bireta (50 mL), kapalice, stakleni štapić, pinceta, pipete, staklene bočice s čepom.

Od uređaja, u radu su korištene analitička vaga, grijaće tijelo, magnetska miješalica, uređaj za ultračistu vodu (TKA, WASSERAUFBEREITUNGSSYSTEME) i štapni mikser.

3.3. Priprema uzoraka biljnog materijala

Biljni materijal je pripremljen tako da sadrži što manje dodane vode, a ispitan je svježi, smrznuti i suhi biljni materijal te prerađevine, tj. sok, pekmez, vino i sl. Korištene prerađevine su sadržavale samo odabrano voće, bez dodanog drugog voća, umjetnih aroma i boja. Ukoliko je bilo moguće, korištene su domaće prerađevine, a u pojedinim slučajevima ispitan su proizvodi više proizvođača.

Uzorci svježeg, smrznutog i suhog biljnog materijala te krutih prerađevina priređeni su usitnjavanjem štapnim mikserom u čaši 100 g biljnog materijala sa što manjim dodatkom ultračiste vode (ili bez dodane vode). Kako bi se ispitao sadržaj vitamina C u suhom biljnom materijalu i čaju, 10 mg suhog materijala je preliveno sa 100 mL vrele vode te je ostavljeno da odstoji 30 minuta.

3.4. Priprema otopina i postupak određivanja sadržaja vitamina C

Priprema standardne otopine vitamina C ($w = 1 \%$)

0,255 g vitamina C je kvantitativno preneseno u odmjernu tikvicu (250 mL) koja sadrži mali volumen demineralizirane vode. Tikvica se zatvorila i promiješala kako bi se kiselina otopila te nadopunila ultračistom vodom do oznake na grlu tikvice.

Priprema otopine škroba ($w = 1 \%$)

0,50 g škroba je kvantitativno preneseno u čašu od 50 mL, dodano je 25 mL deionizirane vode i čaša je zagrijavana na električnom grijaćem tijelu do potpunog otapanja škroba. Nakon hlađenja, otopina škroba se prelila u odmjernu tikvicu (50 mL) te je dodana demineralizirana voda do oznake.

Priprema otopine joda množinske koncentracije $0,025 \text{ mol/dm}^3$

5 g KI i 3 g I₂ je odvagano i kvantitativno preneseno u odmjernu tikvicu (500 mL) koja sadrži 15 mL demineralizirane vode. Otopina se snažno mućka sve dok se sav jod ne otopi. Potom se tikvica nadopuni demineraliziranom vodom do oznake. Pripremljena otopina I₂/KI čuva se u tamnoj reagens boci.

Protokol za određivanja sadržaja vitamina C

25 mL otopine vitamina C se otpipetira u Erlenmeyerovu tikvicu (25 mL) te se doda 10 kapi indikatora škroba. Bireta se napuni otopinom I₂ te se otopina vitamina C titrira pomoću otopine I₂ do pojave tamnoplavog obojenja.

25 mL uzorka biljnog materijala se otpipetira u Erlenmeyerovu tikvicu (25 mL), doda se 10 kapi indikatora škroba, promiješa i titrira s otopinom I₂ do pojave tamnoplavog obojenja koje se mora zadržati najmanje 20 sekundi.

3.5. Izračun sadržaja vitamina C u uzorcima

Količina askorbinske kiseline u uzorcima računa se pomoću jednadžbe (3):

$$\frac{V(I_2)_{\text{za standardizaciju}}}{0,255 \text{ g (askorbinska kiselina)}} = \frac{V(I_2)_{\text{za uzorak}}}{x \text{ g (askorbinska kiselina)}} \quad (3)$$

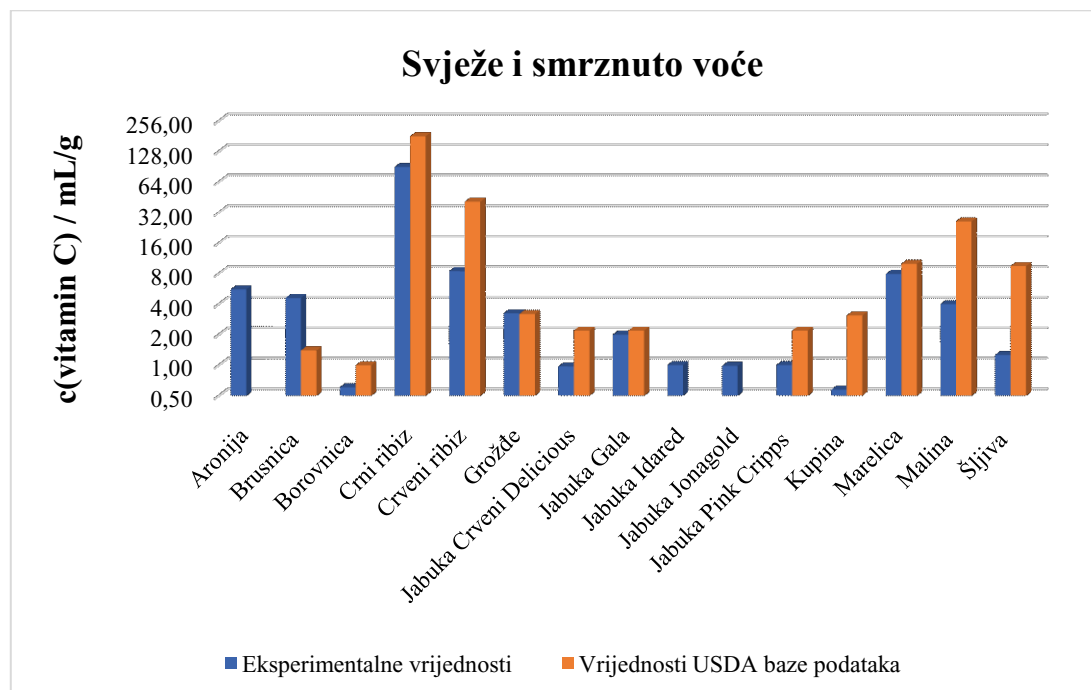
Zadana jednadžba se odnosi na 25 mL pa se dobiveni rezultat treba preračunati za 100 mL. Nakon standardizacije otopine vitamina C, izračunata je aritmetička sredina volumena otopine I₂. Vrijednost je iznosila 5,1 mL (za 0,255 g vitamina C u 250 mL deionizirane vode).

4. Rezultati i rasprava

Rezultati istraživanja prikazani su grafički na Slikama 3.-8. Za uspoređivanje eksperimentalnih vrijednosti korištena je USDA baza podataka koja sadrži podatke o nutritivnim vrijednostima namirnica. Podaci se odnose na koncentraciju vitamina C prisutnog u 100 g biljnog materijala.

Svježe voće se bere prije sazrijevanja kako bi ono sazrijelo za vrijeme samog transporta. Tijekom transporta voće se skladišti u strogo kontroliranoj rashlađenoj atmosferi te se tretiraju kemikalijama kako bi se spriječilo njihovo prebrzo sazrijevanje i propadanje. Stajanjem voća smanjuje se sadržaj vitamina C u njemu jer dolazi do njegove oksidacije i hidrolize do etan-dikarboksilne kiseline [3].

Smrzavanje pomaže u očuvanju nutritivnih vrijednosti biljnih materijala. Različiti načini obrade namirnica prije smrzavanja mogu utjecati na smanjenje koncentracije vitamina C. Određene nutritivne vrijednosti gube se u procesu blanširanja. Blanširanje se provodi prije samog smrzavanja na način da se namirnica stavi u kipuću vodu na nekoliko minuta. Tim procesom se ubijaju bakterije i sprječava se gubitak okusa i boje namirnice. Također, u vodi dolazi do gubitka topljivih vitamina C i B [3].

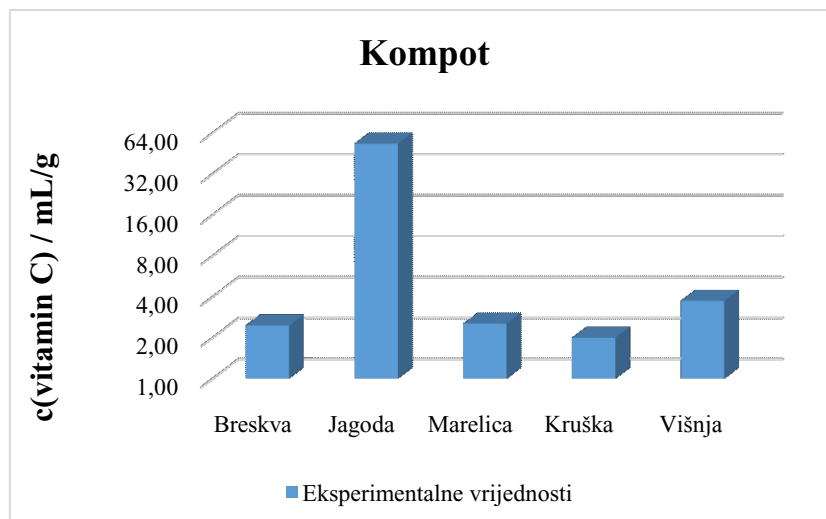


Slika 3. Količina vitamina C u svježem i smrznutom voću.

Iz Slike 3. možemo uočiti da je najveća koncentracija vitamina C u svježem voću utvrđena u uzorcima jabuke sorte Idared (1,006 mg/100 g) i Pink Cripps (1,006 mg/100 g), dok su nešto manje koncentracije izmjerene u uzorcima jabuke sorte Jonagold (0,986 mg/100 g), Crveni Delicious (0,974 mg/100 g) i Gala (2,0 mg/100 g). Visoka koncentracija vitamina C utvrđena je u uzorcima smrznutog materijala crnog (90 mg/100 g) i crvenog ribiza (8,46 mg/100 g), dok je najmanja koncentracija vitamina C utvrđena u uzorku šljive (1,26 mg/100 g).

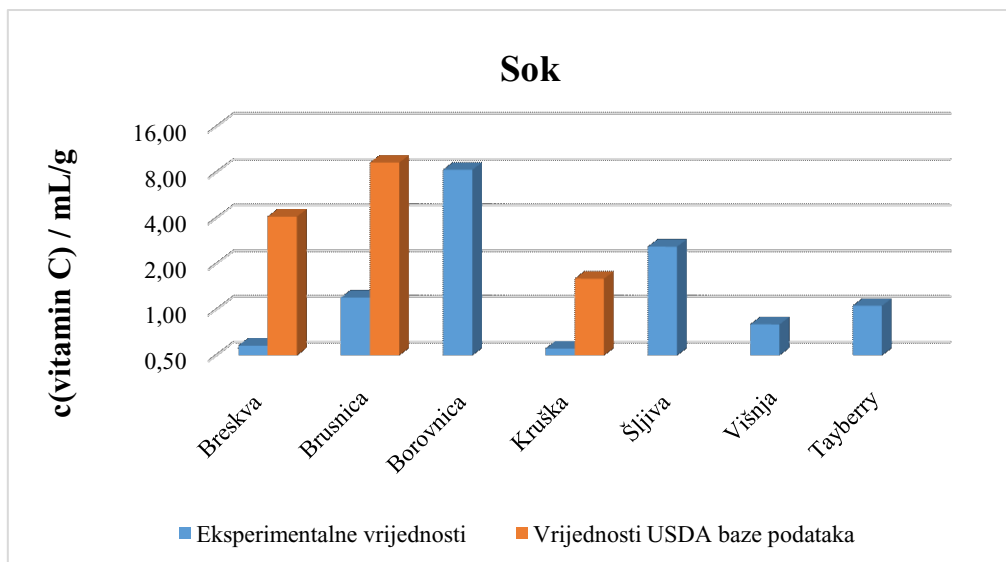
Prema USDA, utvrđeni sadržaj vitamina C u sirovom biljnom materijalu iznosi za brusnicu 14 mg/100 g, u crnom ribizu 181 mg/100 g, u crvenom ribizu 41 mg/100 g, u grožđu 3,2 mg/100 g, u marelici 10 mg/100 g, u malini 26,2 mg/100 g i u šljivi 9,5 mg/100 g. U jabuci (sirov biljni materijal) Crveni Delicious iznosi 2,2 mg/100 g, u Gali 2,2 mg/100 g i u Pink Crippsu iznosi 2,2 mg/100 g. U smrznutom biljnom materijalu iznosi 1,0 mg/100 g (borovnica) i 3,1 mg/100 g (kupina).

Uspoređivanjem USDA s eksperimentalnim vrijednostima uočavamo da je jodometrijska metoda pokazala visok sadržaj vitamina C u brusnici, borovnici, jabukama Crveni Delicious i Pink Cripps. Dok je niski sadržaj vitamina C utvrđen u grožđu, jabuci Gali, malini i šljivi. Jabuka Pink Cripps sadrži 2,2 mg/100 g prema USDA, a eksperimentalna vrijednosti iznosi 1,006 mg/100 g. Uočen niži sadržaj vitamina C u jabuci Pink Cripps mogao bi biti posljedica dugotrajnog stajanja i skladištenja voća. Uočavamo iz slike 3. da se u smrznutom biljnom materijalu (borovnica i kupina) vitamin C smanjio u manjoj mjeri. Dok je kod crnog i crvenog ribiza te maline zabilježen veliki gubitak vitamina C. Zaključujemo da sav biljni materijali ne gubi jednako sadržaj vitamina C. Jedan od razloga može biti priroda bioloških uzoraka te duljina perioda skladištenja. Korišteni uzorci bili su svjetlijih boja, što je pogodno kod određivanja završne točke titracije jer je promjena boje lako uočljiva. Tamnija boja uzoraka nepovoljno bi utjecala na konačni rezultat, budući da točka ekvivalencije u tom slučaju ne bi bila jasno vidljiva pa bi se u konačnici dobio rezultat koji je niži od stvarnog sadržaja vitamina C.



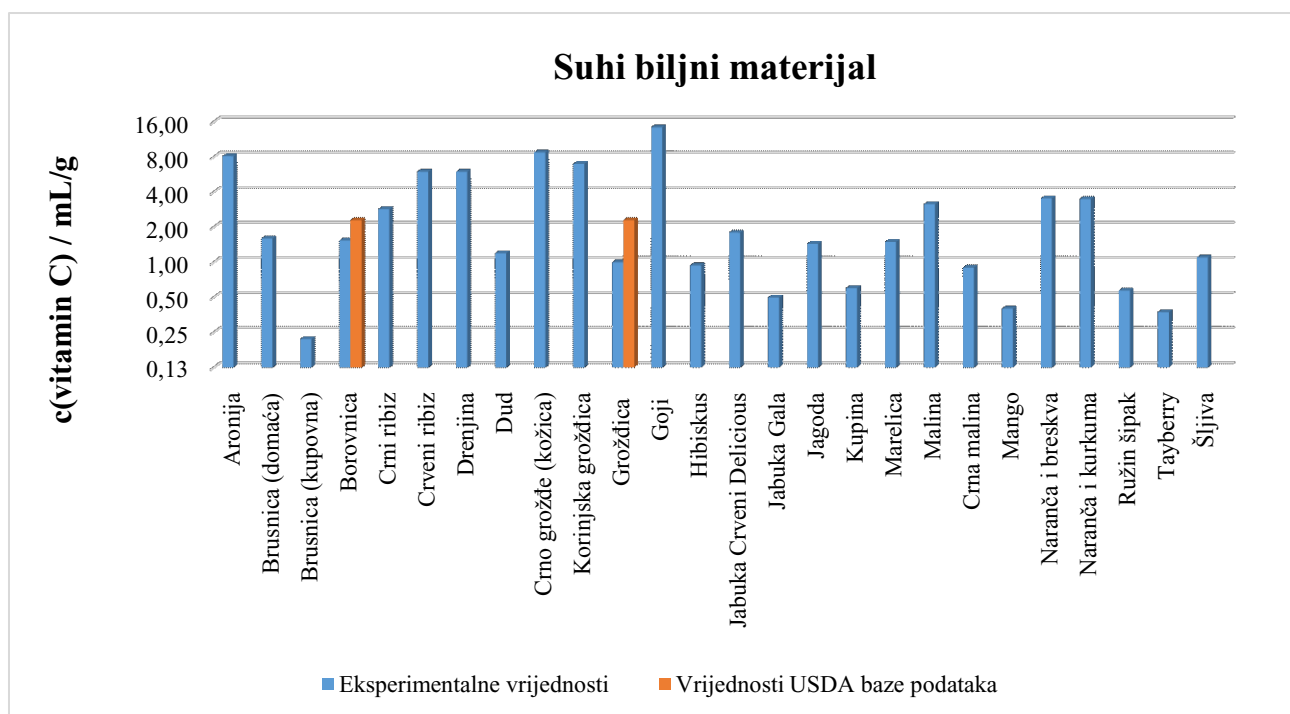
Slika 4. Količina vitamina C u kompotu.

U ispitanim uzorcima kompota, najveća koncentracija vitamina C je utvrđena u kompotu od jagoda (53,4 mg/100 g), a najmanja u kompotu od kruški (2,0 mg/100 g) (Slika 4.). Prema USDA bazi podataka, koncentracija vitamina C u sirovoj marelici iznosi 10 mg/100 g, dok zabilježena eksperimentalna vrijednost kompota od marelice iznosi 2,54 mg/100 g. Eksperimentalni podaci u USDA bazi u slučaju uzoraka sirovog biljnog materijala određeni su pomoću titrimetrijske metode i iznose : breskva (4,1 mg/100 g) i jagode (56 mg/100 g). Sadržaj vitamina C u sirovoj krušci određen je putem mikrofluorometrijske metode te dobivena vrijednost iznosi 4,4 mg/100 g. U ovom radu, sadržaj vitamina C određen je pomoću jodometrijske metode te za kompot od breskve iznosi 2,46 mg/100 g, kompot od jagode 53,4 mg/100 g i kompot od kruške 2,0 mg/100 g. Uspoređivanjem navedenih vrijednosti biljnog materijala uočavamo da se koncentracije vitamina C uvelike razlikuju. Zbog posljedice kuhanja, točnije visoke temperature, sadržaj vitamina C drastično smanjio. Također, jedan od razloga je korištenje drugačijih vrsta analitičkih metoda. Iz Slike 4. možemo uočiti da namirnice ne gube jednaku količinu vitamina C. Uzorci kompota bili su svijetlo narančaste boje što nije predstavljalo problem kod određivanja završne točke titracije, tj. promjene boje otopine u tamnoplavu.



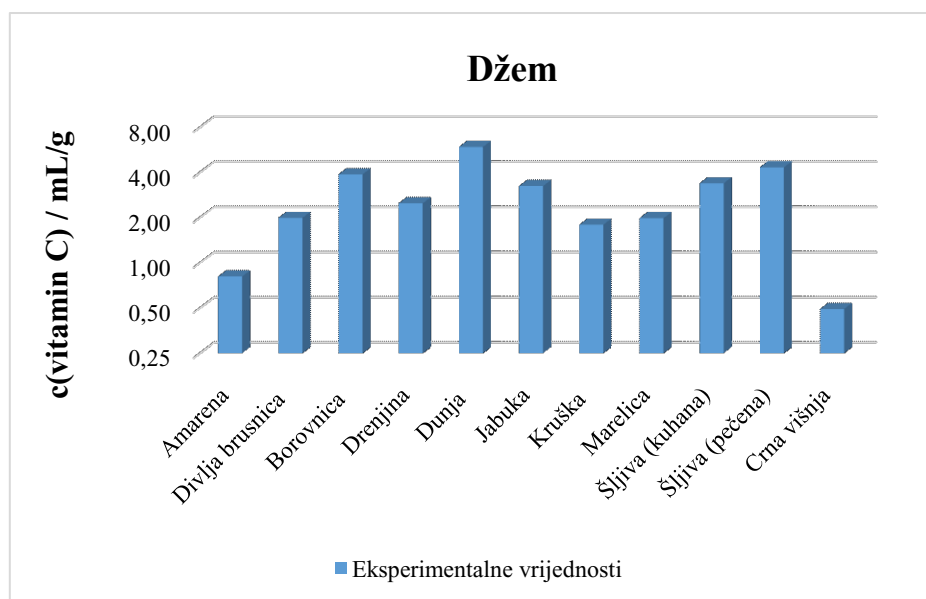
Slika 5. Količina vitamina C u voćnom soku.

Najviše vitamina C izmjereno je u voćnom soku od borovnice (8,34 mg/100 g), a najmanje u soku od kruške (0,554 mg/100 g) (Slika 5.). Sadržaj vitamina C prema USDA bazi podatka za sok od brusnica iznosi 9,3 mg/100 g, a za sok od kruške 1,6 mg/100 g. Uspoređivanjem eksperimentalnih rezultata uočavamo da razne vrste prerađenih sokova ne obiluju sadržajem vitamina C. Pomoću titrimetrijske metode (USDA) određen je sadržaj vitamina C u breskvi (sirov biljni materijal) koji iznosi 4,1 mg/100 g. Dok ostali sadržaj vitamina C sirovog biljnog materijala prema USDA iznosi za borovnicu 9,7 mg/100 g i šljivu 9,5 mg/100 g. Navedene metode se razlikuju te rezultati nisu za uspoređivanje. Za određivanje sadržaja vitamina C u brusnici korištena je indofenolna fotometrijska metoda (USDA), a za krušku mikrofluorometrijska metoda (USDA). Dobivene eksperimentalne vrijednosti sokova su niske u odnosu na USDA (brusnica i kruška) te možemo uočiti kako obrada namirnica smanjuje sadržaj vitamina C. Isto tako, korištena metoda može dovesti do različitih vrijednosti. Uzorci sokova bili su svijetložute (kruška i breskva) boje te je bilo lako uočiti završnu točku titracije (pojava tamnoplave boje). Dok kod uzoraka svijetlo ljubičaste (brusnica, borovnica, šljiva, višnja i tayberry) boje bilo je teže raspoznati promjenu boje otopine.



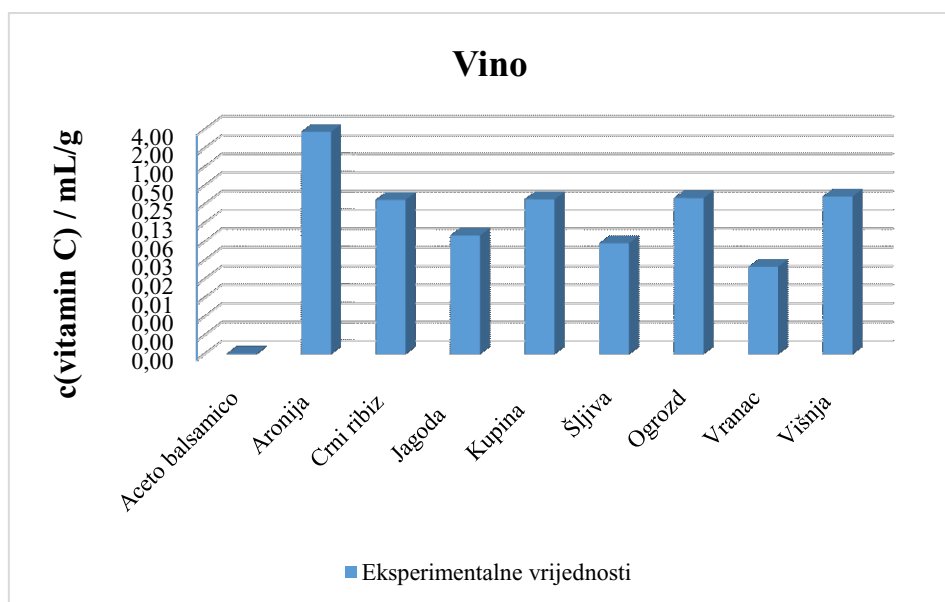
Slika 6. Količina vitamina C u suhom biljnom materijalu.

Suhi biljni materijal ispitan je u obliku čajne infuzije (aronija, borovnica, brusnica; domaća i kupovna, crni ribiz, crveni ribiz, crna malina, drenjina, hibiskus, jabuka Gala, jagoda, korinjska grožđica, kupina, marelica, mango, naranča i breskva, naranča i kurkuma, ružin šipak, šljiva i tayberry) i u obliku suhog materijala (crno grožđe, dud, goji bobice, grožđica, jabuka Crveni Delicious). Najviše vitamina C određeno je u suhom materijalu crnog grožđa (8,78 mg/100 g), aroniji (8,14 mg/100 g) i goji bobicama (14,4 mg/100 g), a najmanje u tayberryju (0,374 mg/100 g), mangu (0,4 mg/100 g) i jabuci Gali (0,5 mg/100 g) (Slika 6.). Prema USDA, utvrđena koncentracija vitamina C (suhi biljni materijal) koja iznosi u borovnici 2,3 mg/100 g, a u grožđici 3,2 mg/100 g. Iz navedenih vrijednosti vidimo da je suhi biljni materijal kao voćna prerađevina, najsiromašnija sadržajem vitamina C u odnosu na USDA (borovnica i grožđice). Prema USDA, sirov biljni materijal sadrži veću koncentraciju vitamina C nego suhi biljni materijal. Pojedini uzorci suhog biljnog materijala bili su od svijetlo žute do bezbojne boje te se odmah mogla uočiti promjena boje otopine u tamnoplavu. Što upućuje kako je u otopini bila prisutna niska koncentracija vitamina C te da dobiveni rezultati nisu posljedica krivo očitane točke ekvivalencije.



Slika 7. Količina vitamina C u džemu.

Među uzorcima džema, najviše vitamina C je utvrđeno u džemu od dunje (5,94 mg/100 g), a najmanje u džemu od crne višnje (0,494 mg/100 g) (Slika 7.). Sadržaj vitamina C u USDA za sirov biljni materijal iznosi: brusnica (14 mg/100 g), borovnica (9,7 mg/100 g), dunja (15 mg/100 g) i šljiva (9,5 mg/ 100 g). Pomoću mikrofluorometrijske metode (USDA) određena je koncentraciju vitamina C u sirovoj krušci (4,4 mg/100 g). Uspoređivanjem dobivenih rezultata, vidimo da voće u džemu ima malu količinu vitamina C. Uzorci džemova bili su žuto-smeđe (drenjina, dunja i kruška) i svijetlo roze (brusnica, šljiva i borovnica) boje te se jasno mogla raspoznati završna točka titracije.



Slika 8. Količina vitamina C u voćnom vinu.

Najveća koncentracija vitamina C izmjerena je u vinu od aronije (3,74 mg/100 g), a najmanja u acetu balsamicu (0,001 mg/100 g) i vranacu (0,025 mg/100 g) (Slika 8.). Pojedini uzorci vina su bili tamno obojeni (aceto balsamico, vranac, aronija, crni ribiz i kupina), što je moglo utjecati na točnost očitavanja točke kraja titracije. Prilikom titracije ovih uzoraka, uočena je slaba promjena boje otopine (crne nijanse). U svjetlijim vinima (jagoda, višnja i šljiva), iako je točka kraja titracije bila lako uočljiva, utvrđena je niska koncentracija vitamina C. U ovom slučaju boja uzorka nije mogla uzrokovati pogrešno očitavanje krajnje točke titracije. Prema USDA, količina vitamina C za sirov biljni materijal iznosi: crni ribiz (181 mg/100 g), kupina (21 mg/100 g) i šljiva (9,5 mg/100 g). Sadržaj vitamina C u jagodama (56 mg/100 g) određen je pomoću titrimetrijske metode. Sadržaj vitamina C u acetu balsamicu prema USDA iznosi 0 mg/100 g. Usporedbom eksperimentalnih podataka voćnih prerađevina i sirovog voća prema USDA utvrđeno je smanjenje sadržaja vitamina C.

Popova (2019) proučavala je nekoliko vrsta voća kako bi utvrdila sadržaj vitamina C u odabranom voću. Koncentracije vitamina C određena je upotrebom metode oksidacijsko-redukcijske titracije, pomoću *N*-bromosukcinimida (engl. *N-Bromosuccinimide titration*, NBS). Istraživani svježi uzorci su imali različite koncentracije vitamina C, a one su sljedeće: jagode (59,8 mg) > kruška (48,5 mg) > borovnice (16,3 mg) > dunja (14,6 mg) > šljiva (4,8 mg) > grožđe (4,0 mg) [27]. Uspoređivanjem uzoraka jodometrijske metode s NBS metodom možemo zaključiti da se vrijednosti razlikuju, budući da se radi o biljnom materijalu i o različitoj metodi rada. Sadržaj vitamina C znatno ovisi o uvjetima uzgoja bilja, dužini

skladištenja, sorti i sl. U ovom radu, uzorci poput dunje, jagode i kruške nisu ispitivani u svježem obliku nego u smrznutom i/ili prerađenom obliku, što također utječe na utvrđeni sadržaj vitamina C.

Sanjay (2020) u svojem istraživanju uspoređuje sadržaj vitamina C u 100 g svježeg, smrznutog i kuhanog biljnog materijala. Koncentracija askorbinske kiseline određena je jednostavnom jodometrijskom titracijom. Sadržaj askorbinske kiseline u crnom ribizu iznosi 181 mg/100 g (svježe), 176 mg/100 g (smrznuto) i 168 mg/100 g (kuhano). Dok u jagodama iznosi 59 mg/100 g (svježe), 52 mg/100 g (smrznuto) i 48 mg/100 g (kuhano) [28]. Uspoređivanjem rezultata između svježeg, smrznutog i kuhanog biljnog materijala uočeno je da svježe voće pokazuje najveću koncentraciju askorbinske kiseline od smrznutog i kuhanog biljnog materijala. Dobivene vrijednosti našeg istraživanja su sljedeće: smrznuti crni ribiz (90 mg/100 g) i kuhane jagode (53,4 mg/100 g). Uspoređivanjem naših rezultata s rezultatima iz tog rada, uočavamo da je sadržaj vitamina C viši u kuhanim jagodama našeg istraživanja. Dok je, u našim rezultatima, sadržaj vitamina C niži u smrznutom crnom ribizu. Oba istraživanja koristili su istu metodu jodometrije te možemo zaključiti da rezultati ovise o načinu preradbe namirnica i vremenskom periodu skladištenja, ali i o prirodi uzorka (sorti voća).

Dumbrava i sur. (2020 i 2017) analizirali su koncentraciju vitamina C u suhom biljnom materijalu (groždice, marelica, goji bobice, aronija i brusnici) pomoću metode jodometrijske titracije. Dobiveni rezultat za suhe groždice je 8,15 mg/100 g, što prikazuje nižu vrijednost od one koje smo dobili (10 mg/100 g) [29]. Ostali rezultati koncentracije vitamina C su sljedeći: marelice (25,37 mg/100 g), goji bobice (128,7 mg/100 g), aronija (61,25 mg/100 g) i brusnice (33,02 mg/100 g) [30]. Naše istraživanje dalo je niske koncentracije vitamina C: marelica (15 mg/100 g), goji bobice (14,4 mg/100 g), aronija (56 mg/100 g) i brusnice (16 mg/100 g). Rezultati se razlikuju s obzirom na primjenu iste metode jodometrije. Razlozi mogu biti isti kao prethodno navedeni, odnosno dugotrajno skladištenje voća te raspad vitamina C u našim uzorcima, ali i priroda tih uzoraka.

5. Zaključak

U ovom radu određena je koncentracija vitamina C u odabranom voću i voćnim prerađevinama primjenom jodometrijske titracije te su dobivene vrijednosti uspoređene s vrijednostima USDA baze podataka. Metode koje su korištene za USDA kako bi odredili sadržaj vitamina C u biljnim materijalima su titrimetrija i mikrofluorometrija. Uspoređivanjem eksperimentalnih vrijednosti s vrijednostima USDA baze podataka uočene su velike razlike u sadržaju vitamina C u voću i voćnim prerađevinama. U odnosu na voćne prerađevine, svježe voće sadrži najveću koncentraciju vitamina C te njegovom preradbom dolazi do gubitka samog vitamina zbog njegovih kemijskih svojstava.

Iz eksperimentalnih podataka možemo zaključiti kako se preradom voća i skladištenjem gubi veliki udio vitamina C. Isto tako, dobiveni rezultat ovisi o metodi koja se primjenjuje za određivanje sadržaja vitamina C. Suhi biljni materijal je najsiromašniji vitaminom C, dok se dobar udio vitamina nalazi u svježem i smrznutom voću.

Kod određivanja sadržaja vitamina C, prednosti jodometrijske metode su sljedeće: niska cijena metode, brza metoda, vizualno jednostavno određivanje pomoću promjene boje u točki ekvivalencije, metoda ne zahtijeva visoku razinu vještine. Nedostaci ove metode su: rezultati se mogu razlikovati u ponavljanjima i teže je odrediti završnu točku titracije kod uzoraka tamnijih boja.

6. Literaturna vrela

- [1] P.S. Telang, *Indian Dermatol Online J.* **4** (2013), 143-146.
- [2] A. Agarwal, A. Shaharyar, A. Kumar, M.S. Bhat, M. Mishra, *J. Clin. Orthop.* **6** (2015), 101-107.
- [3] J.H. Baron, *Nutr. Rev.* **67** (2009), 315-332.
- [4] J. Velisek, K. Cejpek, *Czech J. Food Sci.* **25** (2007), 49-64.
- [5] M. Hidiroglou, M. Ivan, T.R. Batra, *Ann. Zootech.* **44** (1995), 399-402.
- [6] B. Frei, L. England, B.N. Ames, *Proc. Natl. Acad. Sci.* **86** (1989), 6377-6381.
- [7] R. Heller, F. Munscher Paulig, R. Grabner, U. Till, *J. Biol. Chem.* **274** (1999), 8254-8260.
- [8] M.L. Heaney, J.R. Gardner, N. Karasavvas, D.W. Golde, D.A. Scheinberg, E.A. Smith, O.A. O'Connor, *Cancer Res.* **68** (2008), 8031-8038.
- [9] https://www.seanet.com/~alexs/ascorbate/197x/stone-i-orthomol_psych-1972-v1-n2-3-p82.htm (15. 7. 2021.)
- [10] P.M. Dewick, *Medicinal Natural Products: A Biosynthetic Approach*, John Wiley and Sons, England, 2009.
- [11] C.L. Linster, E. Van Schaftingen, *FEBS J.* **274** (2007), 1-22.
- [12] C.I. Rivas, F.A. Zuniga, A. Salas Burgos, L. Mardones, V. Ormazabal, J.C. Vera, *J. Physiol. Biochem.* **64** (2008), 357-375.
- [13] S. Shilpi, R. Shivvedi, A. Singh, A. Kumar, G.K. Saraogi, V. Jain, K. Khatri, *J. Cancer Prev. Curr. Res.* **9** (2018), 331-334.
- [14] G.N.Y. van Gorkom, R.G.J. Klein Wolterink, C.H.M.J. van Elssen, L. Wieten, W.T.V. Germeraad, G.M.J. Bos, *Antiox.* **7** (2018), 41.
- [15] <https://www.bronhitis.rs/vitamin-c-i-magnezijum-ublazavaju-napade-astme/> (17. 08. 2020.)
- [16] M. Whiteman, A. Jenner, B. Halliwell, *Chem. Res. Toxicol.* **10** (1997), 1240-1246.
- [17] <https://www.medicalnewstoday.com/articles/155758> (27. 5. 2021.)
- [18] <https://www.scribd.com/doc/46128279/Zdrava-Ishrana-i-Suplementi> (20. 6. 2021.)
- [19] D.A. Bender, *Nutritional biochemistry of the vitamins*, Cambridge University Press, Cambridge, 2003.
- [20] G.F.M. Ball, *Vitamins: Their Role in the Human Body*, Blackwell Publishing Ltd, Oxford, 2004.

- [21] J. Zempleni, R.B. Rucker, D.B. McCormick, J.W. Suttie, *Handbook of vitamins*, CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, 2007.
- [22] J.A. Jackson, K. Wong, C. Krier, H.D. Riordan, *J. Orthomol. Med.* **20** (2005), 259-261.
- [23] <https://www.krenizdravo.hr/prehrana/dodaci-prehrani/liposomalni-vitamin-c-dnevna-doza-nuspojave-iskustva-i-cijena> (17. 8. 2021.)
- [24] E. Generalić, S. Krka, *Analiza realnih uzoraka (Vježbe)*, Kemijsko tehnološki fakultet u Splitu, Zavod za analitičku kemiju, Split, 2012.
- [25] <https://www.thoughtco.com/vitamin-c-determination-by-iodine-titration-606322> (21. 8. 2021.)
- [26] R. Cohen, Y. Orlova, M. Kovalev, Y. Ungar, E. Shimoni, *J. Agric. Food Chem.* **56** (2008), 4212-4218.
- [27] A. Popova, *Asian Food Sci. J.* **13** (2019), 1-6.
- [28] K.V. Sanjay, *Plant Arch.* **20** (2020), 1944-1946.
- [29] D.G. Dumbravă, D.M. Bordean, C. Moldovan, V.M. Popa, D.N. Raba, A. Berbecea, I. Cocan, E.C. Alexa, *J. Agroaliment. Process. Technol.* **26** (2020), 325-329.
- [30] D.G. Dumbravă, C. Moldovan, I. Marcău, M. Drugă, *J. Agroaliment. Process. Technol.* **23** (2017), 59-62.