

УДК 54.062:547.475.2:612.3

<https://doi.org/10.37827/ntsh.chem.2024.75.078>

Ірина МОРОЗ, Василина ШЕМЕТ, Ольга ГУЛАЙ

ВІТАМІН С: СТРУКТУРА, БІОХІМІЧНЕ ЗНАЧЕННЯ, МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ

*Луцький національний технічний університет,
вул. Львівська, 75, 43018 Луцьк, Україна
e-mail: o.hulai@lntu.edu.ua*

Описано роль вітаміну С для функціонування організму людини. Антиоксидантні властивості вітаміну С вважають ключовим чинником, який нейтралізує вільні радикали та пероксидні сполуки, захищаючи клітини від окисного стресу. Він є структурним компонентом ферментів, задіяних у синтезі колагену. Через втрату здатності самостійно продукувати аскорбінову кислоту, люди повністю залежать від надходження вітаміну С з їжею. Виокремлено основні харчові форми вітаміну С – це L-аскорбінова, D-аскорбінова та дегідроаскорбінова кислоти. Проаналізовано вміст вітаміну С у овочах і фруктах, норми його споживання. Вітамін С є обов'язковою складовою усіх зелених рослин і найменшу добову потребу людини у ньому (40 мг) можна отримати, вживаючи будь-який набір овочів та фруктів щодня. Окреслено основні методи кількісного аналізу вітаміну С. Поряд із класичними титриметричними методами дослідники використовують спектрофотометрію, електрохімічні та хроматографічні методи, перевагами яких є висока чутливість, селективність, експресність, можливість автоматизації. Основною причиною відхилення результатів і похибок є існування вітаміну С в природних об'єктах у кількох формах з різною активністю та хімічною стійкістю.

Ключові слова: аскорбінова кислота, вітамін С, антиоксидант, методи аналізу.

Серед основних корисних складових, на які звертають увагу споживачі під час вибору харчових продуктів, є вітаміни й антиоксиданти. Ці складові відіграють важливу роль у підтриманні здоров'я та профілактики певних захворювань, що є одним з ключових пріоритетів сучасного суспільства. Вітамін С один із найвідоміших і найпоширеніших серед вітамінів, його властивості добре вивчені, однак науковий інтерес до нього не зменшується (Google Scholar наводить понад 4 млн наукових посилань, з них понад 60 тис. за останні 4 роки). Надзвичайно важлива роль вітаміну С для організму людини була відома давно. Систематичне дослідження цієї проблеми у 1750-х роках виконав військово-морський хірург Джеймс Лінд, який з'ясував, що щоденне вживання свіжих цитрусових може запобігти та вилікувати цингу (скорбут, лат. *scorbutus*). На початку 1930-х років американський біохімік угорського походження Альберт фон Сент-Дьєрдьї з фруктів та овочів виділив речовину, яку назвав гексууроною кислотою (емпірична формула $C_6H_8O_6$) [1]. Згодом було доведено, що ця кислота має здатність лікувати

цингу у морських свинок, тому її перейменували на аскорбінову кислоту, щоб відобразити її антискорбутні властивості. У 1932 році Чарльз Глен Кінг з Пітсбурзького університету в США повідомив про виділення кристалічної речовини з лимонного соку з такими ж властивостями, про які Сент-Дьєрдь повідомив для гексуронової кислоти.

У 1937 році Альберту Сент-Дьєрдь присудили Нобелівську премію з фізіології та медицини «...за його відкриття у зв'язку з процесами біологічного горіння, з особливою увагою до вітаміну С і каталізу фумарової кислоти». Того ж року Норман Хаворт з Бірмінгемського університету в Англії отримав Нобелівську премію від Комітету з хімії за розвиток хімії вуглеводів, зокрема за дослідження молекулярної структури кристалів Сент-Дьєрдь, а потім зміг синтезувати вітамін (<https://www.nobelprize.org/prizes/>). Це було значним досягненням і призвело до того, що вітамін С став широко доступним для використання у медицині та харчовій промисловості.

Антиоксидантні властивості вітаміну С вважають ключовим чинником, який здатен захищати організм від шкідливого впливу вільних радикалів та окиснювального стресу. Саме ці процеси пов'язують із розвитком низки хронічних неінфекційних захворювань, таких як атеросклероз, гіпертонія та деякі форми раку. Об'єктивно точне кількісне визначення вітаміну С у сировині і готових продуктах важливе для фахівців фармацевтичної та харчової галузей.

Мета праці – критичний огляд наукових джерел останніх десятиліть стосовно структури, біохімічних властивостей, значення для функціонування організму і методів визначення вітаміну С та сполук, що виявляють еквівалентну біологічну активність.

Результати аналізу літературних джерел

Біологічна дія

Вітамін С (аскорбінова кислота) є незамінним водорозчинним вітаміном для людини і надходить до організму з їжею, головню з фруктів та овочів. Цей вітамін відіграє ключову роль у багатьох життєво важливих процесах в організмі. Вітамін С є складовою частиною багатьох ферментів, необхідних для синтезу амінокислот, нейромедіаторів і гормонів [1]. Він також бере участь у регуляції активності генів та епігенетичних процесів [2].

Вітамін С є потужним антиоксидантом, який нейтралізує вільні радикали та пероксидні сполуки, захищаючи клітини від окисного стресу. Він також відновлює інші антиоксиданти, такі як вітаміни Е та глутатіон. Вітамін С є кофактором для ферментів, задіяних у синтезі колагену – структурного білка сполучної тканини. Він необхідний для нормального функціонування шкіри, кісток, хрящів, зубної емалі та судин. Відомо також імуномодельюча функція вітаміну, здатність поліпшувати окисно-відновні реакції фагоцитів, які борються з інфекціями. Його достатній рівень підвищує резистентність до інфекцій.

Вітамін С надходить з плазми крові в різні органи організму. Особливо високі його концентрації спостерігаються в гіпофізі, надниркових залозах і жовтому тілі. Проте найбільші запаси вітаміну С в організмі містяться у скелетних м'язах, мозку та печінці [3]. Вміст вітаміну С в організмі людини порівняно з іншими вітамінами

доволі високий і становить близько 1,5 г в організмі дорослої людини, тобто в середньому на кілограм маси тіла припадає 20 мг вітаміну [4].

Добову потребу людини у вітаміні С дуже важко оцінити, оскільки вона залежить від багатьох чинників, серед яких фізіологічний стан, стрес і захворювання. Рекомендовані дози суттєво відрізняються в різних країнах – від 40 до 120 мг на день [5–7]. Ця доза відповідає оцінці нормальної потреби в людей. Для вагітних жінок рекомендована додаткова доза в 5–10 мг (25 мг для годуючих матерів). Курцям потрібно додатково 35 мг вітаміну С щодня. Загальна добова доза приблизно 10 мг є достатньою для запобігання розвитку цинги у загальній популяції [7].

Більшість тварин здатні синтезувати вітамін С з глюкози в печінці [8]. Однак морські свинки, кажани, горобцеподібні птахи та примати, зокрема й люди, втратили цю здатність через мутації в гені, який кодує фермент L-гулоно- γ -лактон оксидазу. Цей фермент є визначальним на заключному етапі біосинтезу вітаміну С. Через втрату здатності самостійно продукувати аскорбінову кислоту, люди повністю залежать від надходження вітаміну С з їжею [9]. Зазвичай достатні його кількості забезпечують свіжі фрукти, овочі та інші рослинні продукти. Проте в певних ситуаціях, таких як підвищена потреба, стреси чи недостатнє споживання вітаміновмісних продуктів, може виникати дефіцит вітаміну С, що може призводити до розвитку цинги та інших проблем зі здоров'ям.

Хімічна структура

У 1965 році Комісія з біохімічної номенклатури IUPAC-IUB вирішила змінити назву вітаміну С (2-оксо-L-теогексоно-4-лактон-2,3-ендіол) на аскорбінову кислоту або L-аскорбінову кислоту. Хімічна структура вітаміну С найпростіша з усіх відомих вітамінів (див. рис.). Молекула аскорбінової кислоти містить майже плоске п'ятичленне карбонове кільце та має два хіральних центри, що призводить до існування чотирьох стереоізомерів цієї сполуки. Аскорбінова кислота існує у відновленій та окисненій формах. Відомо чимало чинників, які можуть спричинити окиснення вітаміну С, зокрема зміна рН, дія світла, температура, наявність кисню та йонів металів. Окиснена форма аскорбінової кислоти дегідроаскорбінова кислота легко відновлюється до аскорбінової з використанням відновників або ферментів. L-аскорбінова та дегідроаскорбінова кислоти є основними харчовими формами вітаміну С. У [10] зазначено, що термін вітамін С можна використовувати для зазначення усіх сполук, які виявляють еквівалентну біологічну активність до активності L-аскорбінової кислоти, зокрема L-аскорбінову та D-аскорбінову кислоти, дегідроаскорбінову кислоту, естер аскорбінової кислоти (аскорбіл пальмітат), а також синтетичні форми (6-дезоксі-L-аскорбінова кислота, аскорбілфосфат).

Вміст у продуктах харчування

Вітамін С синтезується у більшості видів рослин, включно з водоростями та здатними до фотосинтезу одноклітинними організмами, з глюкози. Цей багатоступінний синтез відбувається в цитоплазмі та мітохондріях рослинної клітини. Синтезований вітамін накопичується у клітинах і тканинах рослин [9]. Зважаючи на це, вміст вітаміну С в різних рослинних продуктах загалом високий і становить 10–100 мг на 100 г сирової ваги продукту, а в деяких випадках досягає кількох грамів на 100 г сирової ваги.

Більша частина добового споживання аскорбінової кислоти надходить з овочами та фруктами, адже сьогодні вони доступні протягом року. Вміст вітаміну С у деяких овочах і фруктах на 100 г сирової маси, а також методи його визначення подано у табл.

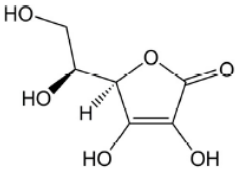
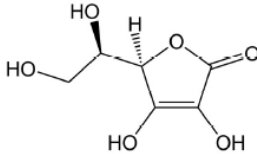
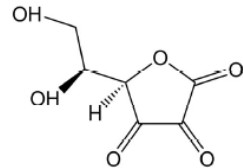
*L-аскорбінова кислота**D-аскорбінова кислота**дегідроаскорбінова кислота*

Рис. Основні харчові форми вітаміну С [11].

Fig. Main nutritional forms of vitamin C [11].

Вітамін С є обов'язковою складовою усіх зелених рослин і найменшу добову потребу людини у ньому (40 мг) легко отримати, вживаючи будь-який набір овочів і фруктів щодня. Зокрема, значний вміст вітаміну мають білокачанна капуста та броколі, перець, зелень цибулі та петрушки.

Як видно з табл., найбагатшими джерелами вітаміну С є кілька екзотичних фруктів з різних куточків світу, зокрема слива какаду з Австралії, каму-каму й ацерола з Південної Америки. Серед рослин, які поширені у Європі, найбільший вміст вітаміну притаманний для плодів шипшини та чорної смородини. Порівняно великий вміст аскорбінової кислоти є у полуниці, цитрусових і різних овочах, хоча біодоступність аскорбінової кислоти в цих харчових продуктах буде залежати від багатьох чинників [36].

Загалом фрукти є джерелом, з якого люди отримують багато вітаміну С, зважаючи на великі щоденні порції, навіть взимку. Крім того, високий вміст органічних кислот у фруктах підвищує стійкість аскорбінової кислоти і знижує її втрати під час зберігання. Максимально стабільним вітамін С є між рН 4 і 6 [37].

Визначаючи відносну дієтичну цінність того чи іншого продукту, важливо враховувати не лише вміст поживних речовин, а й рівень його споживання населенням. Детальні дані про споживання фруктів та овочів у 13 європейських країнах підтверджують, що картопля є найбільш споживаним овочем у переважній більшості з них [38]. На другому місці за споживанням – помідори, які посідають перше місце в Італії. Серед фруктів найпопулярнішими є яблука та апельсини, проте рівень їх споживання може бути нижчим порівняно з картоплею.

Отже, незважаючи на незначний вміст вітаміну С від 30 мг/100 г у картоплі нового врожаю до 10 мг/100 г у картоплі, що зберігалася 6-9 місяців [39], та навіть втрату близько 50% цього вітаміну під час приготування [33], картопля є основним джерелом вітаміну С в раціоні європейців через її високий рівень споживання. Варто також зазначити, що вміст вітаміну С в окремих видах рослин значно різниться через вплив багатьох чинників, зокрема місця вирощування, часу збору врожаю (стадії дозрівання), погодних умов, географічної широти місцевості,

генотипу рослини, застосованої агротехнології, а також способів обробки рослинної сировини [18, 25, 34, 39].

Таблиця

Вміст вітаміну С в овочах і фруктах

Table

Vitamin C content of vegetables and fruits

Номер з/п	Продукт	Вміст, мг/100г	Метод визначення	Джерело
1	Слива какаду	14000 – 18000*	Фотометричний, рідинна хроматографія	[12, 13]
2	Каму-каму	850–5000 мг/100г	Титриметричний, рідинна хроматографія	[14]
3	Ацерола	820–4023 мг/100г	Рідинна хроматографія	[15, 16]
4	Білімбі	2698 мг/100г	Фотометричний	[17]
5	Карамбола	1626 мг/100г	Фотометричний	[17]
6	Чорна смородина	148–310 мг/100г	Рідинна хроматографія	[18]
7	Ківі	61–91 мг/100г	Титриметричний, рідинна хроматографія	[19, 20]
8	Ананс	45 мг/100г	Титриметричний	[20]
9	Полуниця	15–65 мг/100г	Рідинна хроматографія	[21]
10	Апельсин	43–58мг/100г	Титриметричний, рідинна хроматографія	[22, 23]
11	Грейпфрут	26–49мг/100г	Титриметричний, рідинна хроматографія	[22, 23]
12	Лимон	31–44мг/100г	Титриметричний, рідинна хроматографія	[23, 24]
13	Яблуко	11–35 мг/100г	Фотометричний	[25]
14	Шипшина	30–1300 мг/100г	Рідинна хроматографія	[26, 27]
15	Зелена цибуля	93 мг/100г	Рідинна хроматографія	[28]
16	Цибуля	2–10 мг/100	Титриметричний, рідинна хроматографія	[29, 30]
17	Петрушка	59 мг/100г	Рідинна хроматографія	[28]
18	Хрін листя	280–350 мг/100г	Рідинна хроматографія	[31]
19	Хрін корені	80 мг/100г	Рідинна хроматографія	[31]
20	Коріандр	48–90 мг/100г	Рідинна хроматографія	[28, 32]
21	Капуста білокачанна	78–80 мг/ 100г	Титриметричний	[33]
22	Броколі	25–130 мг/100г	Рідинна хроматографія	[34]
23	Перець	107–126 мг/100г	Титриметричний	[35]
24	Картопля	8–30 мг/100г	Рідинна хроматографія	[36]
25	Томати	16–25 мг/100г	Рідинна хроматографія	[36]

*На 100 г сухої речовини.

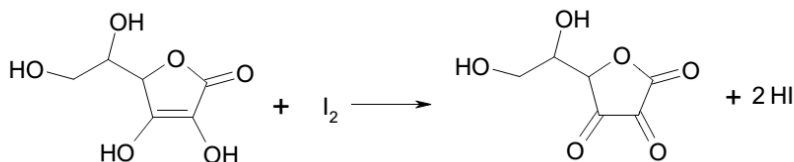
Методи визначення

Визначення вітаміну С у харчових системах є доволі складною проблемою внаслідок окиснення аскорбінової кислоти, навіть на етапі підготовки зразка. На стабільність L-аскорбінової кислоти у водних розчинах може впливати низка

чинників, зокрема дія світлових променів, підвищення температури, зміна рН, наявність кисню та йонів металів. Всі перелічені чинники можуть призводити до її швидкого окиснення, що потрібно враховувати під час визначення. У зв'язку з цим концентрація L-аскорбінової кислоти може знижуватися під впливом ультрафіолетового світла (зниження до 80%), природного світла в прозорому контейнері (зниження до 84%), а також у колбі з темного скла (зниження до 96%) [40].

Для кількісного визначення вітаміну С у харчових продуктах використовують низку хімічних і фізико-хімічних методів. Властивість L-аскорбінової кислоти брати участь у окисно-відновних реакціях є основою класичних титриметричних методів, серед яких йодометричне титрування (IODINE), титрування дихлорфенол-індофенолом (DCIP), титрування N-бромосукцинімідом (NBS).

В основі йодометричного титрування є реакція взаємодії L-аскорбінової кислоти з йодом (однак за межами визначення залишаються інші форми вітаміну С і результати у більшості випадків виявляються заниженими):



Деякі дослідники як робочий розчин використовують розчин йоду I₂ [41], інші – стабільніший розчин калій йодату КІО₃ [42]. Як індикатор у цьому методі використовують розчин крохмалю. Як зазначено у Державній фармакопеї України, 0.150 г субстанції розчиняють у суміші 10 мл кислоти сульфатної розведеної і 80 мл води, вільної від вуглецю діоксиду. Додають 1 мл розчину крохмалю Р і титрують 0.05 М розчином йоду до одержання стійкого синьо-фіолетового забарвлення. 1 мл 0.05 М розчину йоду відповідає 8.81 мг С₆Н₈О₆.

У методі дихлорфенол-індофенольного титрування (DCIP) як робочий розчин використовують свіжоприготований 2,6-дихлорфеноліндофенол концентрацією 0,0009 моль·дм⁻³. Титрування проводять до появи рожевого забарвлення [41; 43]. Вітамін С визначають також з використанням робочого розчину 0,01 % N-бромсукциніміду. У [44] отримано спільномірні результати за обома методами.

У спектрофотометричному методі кількісного визначення вітаміну С використовують калій перманганат як хромогенний реагент. Спектрофотометричні дослідження проводять за 530 нм. Дослідники підтверджують, що спектрометричний метод для кількісного визначення вітаміну С простіший і швидший порівняно з титриметричними методами, хоча результати досліджень спільномірні [42; 45].

Спектроскопія ближнього інфрачервоного діапазону (780–2526 нм) має очевидні переваги, такі як незначна попередня обробка зразків або її відсутність, відсутність забруднення, швидкість, неруйнівний контроль, одночасне виявлення кількох компонентів, і потенційно може бути застосована в промислових цілях [46]. У дослідженні [46] апробовано метод на основі ближньої інфрачервоної (NIR) спектроскопії для швидкого кількісного визначення вмісту вітаміну С у шкірці цитрусових.

Останнім часом все ширше для визначення вітаміну С застосовують електрохімічні методи (ЕХМ), перевагою яких є висока чутливість, селективність, експресність, можливість автоматизації та комп'ютеризації процесу аналізу. Потенціометричне визначення аскорбінової кислоти ґрунтується на реакції, що каталізується аскорбатоксидазою, металопротеїном, що містить приблизно 8 атомів купруму на моль ферменту. Вольтамперометричне визначення вітаміну С проводять з використанням ртутного, золотого, платинового та скловугільного електродів. Проте існує проблема забруднення поверхні електрода окисненням. Для усунення цієї проблеми модифікують поверхню електрода або обробляють імпульсним лазерним опроміненням чи використовують термічну обробку [47; 48].

Останні досягнення щодо електрохімічних сенсорів передбачають використання вуглецевих нанотрубок і різних композитів, для яких характерні велика площа поверхні та електрокаталітична активність, що значно підвищує аналітичний сигнал і зменшує піковий потенціал, який відповідає окисненню аскорбінової кислоти, вирішує проблему перекриття піків у складних зразках. Ефективність методів і сфери застосування залежать від обраної електрохімічної техніки [49].

Для визначення вітаміну С користуються також хроматографічними методами. Найчастіше застосовують надефективну рідинну хроматографію (UPLC) і високо-ефективну рідинну хроматографію (HPLC), що широко використовують для аналізу харчової продукції [50]. За допомогою цих методів можна визначали вміст L-аскорбінової кислоти (AA) та загальний вміст вітаміну С (як суми AA і дегідроаскорбінової кислоти (DHAA) після її відновлення до AA) у фруктових напоях і фармацевтичних препаратах. Ці методи можна використовувати у якісному та кількісному аналізі вітаміну С. Зазвичай загальний вміст L-(+)-аскорбінової кислоти визначають методом HPLC на колонці C18 та УФ-детектуванні за 265 нм з використанням зовнішнього стандарту (PN-EN 14130:2004). Межа виявлення становила $1,5 \text{ мкг} \cdot \text{см}^{-3}$. Температура: 22°C , склад елюенту: 95/5 $\text{CH}_3\text{COOH} : \text{CH}_3\text{OH}$, витрата $0,7 \text{ см}^3 \cdot \text{хв}^{-1}$ [41]. Вважають, що метод UPLC швидший, чутливіший і екологічніший (використовується менше елюенту) ніж метод HPLC [51].

Хроматографічний метод став основою міжнародного стандарту ISO 20635:2018 – Infant formula and adult nutritionals – Determination of vitamin C by (ultra) high performance liquid chromatography with ultraviolet detection ((U)HPLC-UV). Цей стандарт передбачає метод визначення вітаміну С (L-аскорбінової кислоти), який є у всіх формах сумішей для немовлят і дорослих (порошки, готові до вживання рідини та рідкі концентрати), за допомогою (ультра) високо-ефективної рідинної хроматографії з ультрафіолетовим поглинанням (U)HPLC-UV. Діапазон застосування становить від 2,5 мг/100 г (межа кількісного визначення) до 50 мг/100 г, виражених у споживаному продукті. Метод допомагає відрізнити D-аскорбінову кислоту (ізоаскорбінову або ериторбінову кислоту) від L-аскорбінової кислоти (ISO 20635:2018).

В Україні на продукти перероблення фруктів та овочів і методи визначення вітаміну С поширюється стандарт ДСТУ 7803:2015 «Продукти перероблення фруктів та овочів. Методи визначення вітаміну С». Згідно з державним стандартом для визначення аскорбінової кислоти (вітаміну С) використовують методи: титриметричний із візуальним титруванням для визначення аскорбінової кислоти у продуктах, які дають світло-забарвлені екстракти; титриметричний з потенціометричним титруванням і фотометричний для визначення аскорбінової кислоти у продуктах, які дають темно-забарвлені екстракти; титриметричний з цистеїном і

флуорометричний для визначання суми аскорбінової та дегідроаскорбінової кислоти. Методи застосовують для визначання вітаміну С у продуктах з масовою часткою не менше ніж 0,0001 %; у разі застосування флуорометричного методу – не менше ніж 0,00025 %.

Дослідники працюють над розробкою новітніх експрес-методів визначення вітаміну С. Зокрема, розроблено раціонометричний аналітичний пристрій на основі мікрофлюїдного паперу (R-DB-μPAD), а також тривимірний (3D) багатофункціональний з'єднувач (спейсер) для підвищення точності та роздільної здатності аналізів [52]. Пристрій складається з двох кольорових каналів з роз'ємом, який визначає результати на основі співвідношення відстаней. Новий пристрій R-DB-μPAD був використаний для точного та прецизійного виявлення аскорбінової кислоти (АК) як модельного аналіту. Запропонований пристрій R-DB-μPAD у поєднанні з конектором був успішно використаний для виявлення аскорбінової кислоти в апельсиновому соці та таблетках вітаміну С із високою простотою, практичністю та відтворюваністю, що ілюструє його значний потенціал у харчовій і фармацевтичній промисловості.

Висновки

Зважаючи на еволюційну втрату здатності синтезувати аскорбінову кислоту, людина має постійно дбати про адекватне надходження цього незамінного нутрієнта з щоденними продуктами харчування для підтримання оптимального стану організму. Як донор електронів аскорбінова кислота є одним з найважливіших низькомолекулярних антиоксидантів у складі харчових продуктів і напоїв. Отже, перед науковцями та технологами стоїть завдання вибору оптимального методу аналізу, що дає змогу одночасно визначати саму L-аскорбінову кислоту та різні її форми, знаходити чіткі відмінності між цими сполуками. Більшість сучасних методів потребують високоякісного обладнання, кваліфікованого персоналу, складної попередньої підготовки зразків або дорогих біологічних реагентів. Незважаючи на численні стандартизовані методики, швидкий моніторинг рівня вітаміну С на етапах виробництва та контролю якості досі становить дослідницький інтерес для науковців.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Granger M., Eck P.* Dietary vitamin C in human health. *Adv. Food Nutr. Res.* 2018. Vol. 83. P. 281–310. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2017.11.006>.
2. *Monfort A., Wutz A.* Breathing-in epigenetic change with vitamin C. *EMBO Rep.* 2013. Vol. 14. P. 337–346. <https://doi.org/10.1038/embor.2013.29>.
3. *Juraschek S.P., Guallar E., Appel L.J., Miller E. R.* Effects of vitamin C supplementation on blood pressure: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Am. J. Clin. Nutr.* 2012. Vol. 95(5). P. 1079–1088. <https://doi.org/10.3945/ajcn.111.027995>.
4. *Young V.R.* Evidence for a recommended dietary allowance for vitamin C from pharmacokinetics: A comment and analysis. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 1996. Vol. 93(25). P. 14344–14348. <https://doi.org/10.1073/pnas.93.25.14344>.
5. *Frei B., Traber M.* The new US dietary reference for vitamins C and E. *Redox Rep.* 2001. Vol. 6. P. 5–9. <https://doi.org/10.1179/135100001101535978>.

6. World Health Organization. Scurvy and its Prevention and Control in Major Emergencies/Prepared by Zita Weise Prinzo; World Health Organization: Geneva, Switzerland, 1999. <https://iris.who.int/handle/10665/66962>.
7. *Padayatty S.J.; Levine M.* Vitamin C: The known and the unknown and Goldilocks. *Oral Dis.* 2016. Vol. 22. P. 463–493. <https://doi.org/10.1111/odi.12446>.
8. *Tsao C.S.* An Overview of Ascorbic Acid Chemistry and Biochemistry. In *Vitamin C in Health and Disease*; Packer, L., Fuchs, J., Eds.; Marcel Dekker: New York, NY, USA, 1997; pp. 25–58.
9. *Linster C.L., Van Schaftingen E.* Vitamin C. Biosynthesis, recycling and degradation in mammals. *FEBS J.* 2007. Vol. 274. P. 1–22. <https://doi.org/10.1111/j.1742-4658.2006.05607.x>.
10. *Spinola V., Llorent-Martínez E. J., Castilho P. C.* Determination of vitamin C in foods: Current state of method validation. *J. Chromatogr. A.* 2014. Vol. 1369. P. 2–17. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2014.09.087>.
11. *Carr A.C., Vissers M.C.* Synthetic or food-derived vitamin C – are they equally bioavailable? *Nutrients.* 2013. Vol. 5(11). P. 4284–4304. <https://doi.org/10.3390/nu5114284>.
12. *Cozzolino D., Phan A.D.T., Netzel M.E., Smyth, H., Sultanbawa Y.* The use of vibrational spectroscopy to predict vitamin C in Kakadu plum powders (*Terminalia ferdinandiana* Exell, Combretaceae). *J. Sci. Food Agric.* 2021. Vol. 101. P. 3208–3213. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10950>.
13. *Zhou Y., Phan A.D.T., Akter S., Bobasa E.M., Seididamyeh M., Sivakumar D., Sultanbawa Y.* Bioactive Properties of Kakadu Plum-Blended Products. *Molecules.* 2023. Vol. 28(6). P. 2828. <https://doi.org/10.3390/molecules28062828>.
14. *Cunha-Santos E.C.E., Viganó J., Neves D.A., Martínez J., Godoy H.T.* Vitamin C in camucamu [*Myrciaria dubia* (H.B.K.) McVaugh]: evaluation of extraction and analytical methods. *Food research international* (Ottawa, Ont.). 2019. Vol. 115. P. 160–166. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.08.031>.
15. *Mezadri T., Villaño D., Fernández-Pachón M.S., García-Parrilla M.C., Troncoso A.M.* Antioxidant compounds and antioxidant activity in acerola (*Malpighia emarginata* DC.) fruits and derivatives. *J. Food Compos. Anal.* 2008. Vol. 21. P. 282–290. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2008.02.002>.
16. *Cardoso P.C., Tomazini A.P.B., Stringheta P.C., Ribeiro S.M.R., Pinheiro-Sant'Ana H.M.* Vitamin C and carotenoids in organic and conventional fruits grown in Brazil. *Food Chem.* 2011. Vol. 126. P. 411–416. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.10.109>.
17. *Ariharan V.N., Kalirajan K., Devi V.N., Prasad P.* An exotic fruit which forms the new natural source for vitamin-C. *Rasayan J. Chem.* 2012. Vol. 5(3). P. 356.
18. *Vagiri M., Ekholm A., Öberg E., Johansson E., Andersson S.C., Rumpunen K.* Phenols and ascorbic acid in black currants (*Ribes nigrum* L.): Variation due to genotype, location, and year. *J. Agric. Food Chem.* 2013. Vol. 61. P. 9298–9306. <https://doi.org/10.1021/jf402891s>.
19. *Krupa T., Latocha P., Liwińska A.* Changes of physicochemical quality, phenolics and vitamin C content in hardy kiwifruit (*Actinidia arguta* and its hybrid) during storage. *Scientia Horticulturae.* 2011. Vol. 130(2). P. 410–417. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.06.044>.
20. *Dumbravă D.G., Moldovan C., Raba D.N., Popa M.V., Drugă M.* Evaluation of antioxidant activity, polyphenols and vitamin C content of some exotic fruits. *J. Agroalimentary Proces. Techn.* 2016. Vol. 22(1). P. 13–16.
21. *Koyuncu M.A., Dilmaçınal T.* Determination of vitamin C and organic acid changes in strawberry by HPLC during cold storage. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca.* 2010. Vol. 38(3). P. 95–98. <https://doi.org/10.15835/nbha3834819>.

22. *Ellong E., Billard C., Adenet S., Rochefort K.* Polyphenols, carotenoids, vitamin C content in tropical fruits and vegetables and impact of processing methods. *Food Sci. Nutr.* 2015. Vol. 6. P. 299–313. <https://doi.org/10.4236/fns.2015.63030>.
23. *Najwa F.R., Azrina A.* Comparison of vitamin C content in citrus fruits by titration and high performance liquid chromatography (HPLC) methods. *Int. Food Res. J.* 2017. Vol. 24(2). P. 726.
24. *Njoku P.C., Ayuk A.A., Okoye C.V.* Temperature effects on vitamin C content in citrus fruits. *Pak. J. Nutr.* 2011. Vol. 10. P. 1168–1169. <https://doi.org/10.3923/pjn.2011.1168.1169>.
25. *Kevers C., Pincemail J., Tabart J., Defraigne J.O., Dommes J.* Influence of cultivar, harvest time, storage conditions, and peeling on the antioxidant capacity and phenolic and ascorbic acid contents of apples and pears. *J. Agric. Food Chem.* 2011. Vol. 59. P. 6165–6171. <https://doi.org/10.1021/jf201013k>.
26. *Roman I., Stănilă A., Stănilă S.* Bioactive compounds and antioxidant activity of *Rosa canina* L. biotypes from spontaneous flora of Transylvania. *Chemistry central journal.* 2013. Vol. 7. P. 1–10. <https://doi.org/10.1186/1752-153X-7-73>.
27. *Ziegler S.J., Meier B., Sticker O.* Fast and selective assay of L-ascorbic in rose hips by RP-HPLC coupled with electrochemical and/or spectrophotometric detection. *Planta Med.* 1986. Vol. 5. P. 383–387. <https://doi.org/10.1055/s-2007-969192>.
28. *Santos J., Herrero M., Mendiola J., Oliva-Teles M.T., Ibáñez E., Delerue-Matos C., Oliveira M.* Fresh-cut aromatic herbs: Nutritional quality stability during shelf-life. *LWT.* 2014. Vol. 59. P. 101–107. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.05.019>.
29. *Colina-Coca C., de Ancos B., Sánchez-Moreno C.* Nutritional Composition of Processed Onion: S-Alk(en)yl-L-cysteine Sulfoxides, Organic Acids, Sugars, Minerals, and Vitamin C. *Food Bioprocess Technol.* 2014. Vol. 7. P. 289–298. <https://doi.org/10.1007/s11947-013-1150-4>.
30. *Jurgiel-Malecka G., Gibczynska M., Nawrocka-Pezik M.* Comparison of chemical composition of selected cultivars of white, yellow and red onions. *Bulgarian J. Agric. Sci.* 2015. Vol. 21(4). P. 736–741.
31. *Rivelli A.R., Caruso M.C., De Maria S., Galgano F.* Vitamin C content in leaves and roots of horseradish (*Armoracia rusticana*): Seasonal variation in fresh tissues and retention as affected by storage conditions. *Emirates J. Food Agricult.* 2017. Vol. 29(10). P. 799–806. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2017.v29.i10.1294>.
32. *Johnson C.S., Steinberg F.M., Rucker R.B.* Ascorbic acid. In: *Handbook of Vitamins*. Edited by: Rucker, R.B., Sultie, J.W., McCormick, D.B., Machlin, L.J. Marcel Dekker Inc, New York. 1998. P. 529–585.
33. *Tincheva P.A.* The effect of heating on the vitamin C content of selected vegetables. *World J. Adv. Res. Rev.* 2019. Vol. 3(3). P. 027–032. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2019.3.3.0073>.
34. *Domínguez-Perles R., Mena P., García-Viguera C., Moreno D.A.* Brassica foods as a dietary source of vitamin C: A review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2014. Vol. 54. P. 1076–1091. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.626873>.
35. *Igbokwe G.E., Anagonye C.O.* Determination of β -carotene & vitamin C content of fresh green pepper (*capsicum annum*), fresh red pepper (*capsicum annum*) and fresh tomatoes (*solanumly copersicum*) fruits. *The Bioscientist Journal.* 2013. Vol. 1(1). P. 89–93.
36. *Davey M.W., Montagu M.V., Inzé D., Sanmartin M., Kanellis A., Smirhoff N., Benzie I.J.J., Strain J.J., Favell D., Fletcher J.* Plant L-ascorbic acid: Chemistry, function, metabolism, bioavailability and effects of processing. *J. Sci. Food Agr.* 2000. Vol. 80. P. 825–860. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(20000515\)80:7<825::AID-JSFA598>3.0.CO;2-6](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(20000515)80:7<825::AID-JSFA598>3.0.CO;2-6).
37. *Moser U., Bendich A.* Vitamin C. In: *Handbook of Vitamins*. Edited by: Machlin, L.J. Marcel Dekker, New York. 1990. Ch5.

38. *Vaz-Velho M.L., Pinheiro R., Rodrigues A.S.* The Atlantic diet—Origin and features. *Int. J. Food Stud.* 2016. Vol. 5(1). P. 106–119. <https://doi.org/10.7455/ijfs/5.1.2016.a10>.
39. *Dale M.F.B., Griffiths D.W., Todd D.T.* Effects of genotype, environment, and postharvest storage on the total ascorbate content of potato (*Solanum tuberosum*) tubers. *J. Agric. Food Chem.* 2003. Vol. 51(1). P. 244–248. <https://doi.org/10.1021/jf020547s>.
40. *Doseděl M., Jirkovský E., Macáková K., Krčmová L. K., Javorská L., Pourová J.* On Behalf Of The Oeonom. Vitamin C—sources, physiological role, kinetics, deficiency, use, toxicity, and determination. *Nutrients.* 2021. Vol. 13(2). P. 615. <https://doi.org/10.3390/nu13020615>.
41. *Kostecka M., Szot I., Czernecki T., Szot P.* Vitamin C content of new ecotypes of cornelian cherry (*Cornus mas* L.) determined by various analytical methods. *Acta Scientiarum Polonorum. Hortorum Cultus.* 2017. Vol. 16 (4). P. 53–61. <https://doi.org/10.24326/asphc.2017.4.6>.
42. *Elgailani I. E. H., Elkareem M. A. M. G., Noh E., Adam O., Alghamdi A.* Comparison of two methods for the determination of vitamin C (ascorbic acid) in some fruits. *Am. J. Chem.* 2017. Vol. 2(1). P. 1–7. <https://doi.org/10.20448/812.2.1.1.7>.
43. *Tantray A. K., Dar S. A., Ahmad S., Bhat S. A.* Spectrophotometric and titrimetric analysis of phytoascorbate. *J. of Pharmacognosy and Phytochem.* 2017. Vol. 6(1). P. 27–31.
44. *Popova A.* Comparison of vitamin C content of commercially available fresh fruits. *Asian Food Sci. J.* 2019. Vol. 13. P. 1–6. <https://doi.org/10.9734/AFSJ/2019/v13i230100>.
45. *Devolli A., Stafasan M., Shahinasi E., Dara F., Hamiti H.* Determination of Vitamin C content in commercial fruit juices by volumetric and spectrophotometric methods. *J. Hygienic Eng. Design.* 2021. Vol. 16(34). P. 124–131.
46. *Zhang W., Lin M., He H., Wang Y., Wang J., Liu H.* Toward achieving rapid estimation of vitamin C in citrus peels by NIR spectra coupled with a linear algorithm. *Molecules.* 2023. Vol. 28(4). P. 1681. <https://doi.org/10.3390/molecules28041681>.
47. *Greenway G. M., Ongomo P.* Determination of L-ascorbic acid in fruit and vegetable juices by flow injection with immobilised ascorbate oxidase. *Analyst.* 1990. Vol. 115(10). P. 1297–1299. <https://doi.org/10.1039/AN9901501297>.
48. *Skrovankova S., Mlcek J., Sochor J., Baron M., Kynicky J., Jurikova T.* Determination of ascorbic acid by electrochemical techniques and other methods. *Inter. J. Electrochem. Sci.* 2015. Vol. 10(3). P. 2421–2431. [https://doi.org/10.1016/S1452-3981\(23\)04857-5](https://doi.org/10.1016/S1452-3981(23)04857-5).
49. *Pisoschi A. M., Pop A., Serban A. I., Fafaneata C.* Electrochemical methods for ascorbic acid determination. *Electrochimica Acta.* 2014. Vol. 121. P. 443–460. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2013.12.127>.
50. *Hulai O.I., Shemet V.Ya., Klimovych O.S.* Chromatographic Determination of the Chemical Composition of Apple Chips Extract. *Methods Objects Chem. Anal.* 2023. Vol. 18(1). P. 33–41. <https://doi.org/10.17721/moca.2023.33-41>.
51. *Klimeczak I., Gliszczynska-Świgło A.* Comparison of UPLC and HPLC methods for determination of vitamin C. *Food Chem.* 2015. Vol. 175. P. 100–105. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.11.104>.
52. *Al-Jaf Sabah H., Omer Khalid M.* Accuracy improvement via novel ratiometry design in distance-based microfluidic paper based analytical device: instrument-free point of care testing. *RSC Adv.* 2023. Vol. 13(23). P. 15704–15713. <https://doi.org/10.1039/D3RA01601C>.

SUMMARY

*Iryna MOROZ, Vasylyna SHEMET, Olha HULAI***VITAMIN C: STRUCTURE, BIOCHEMICAL SIGNIFICANCE, METHODS OF DETERMINATION**

*Lutsk National Technical University,
st. Lvivska, 75, 43018 Lutsk, Ukraine
e-mail: o.hulai@lntu.edu.ua*

The role of vitamin C for the functioning of the human body is outlined. The antioxidant properties of vitamin C are thought to be a key factor in neutralizing free radicals and peroxide compounds, protecting cells from oxidative stress. It also replenishes other antioxidants, such as vitamins E and glutathione. It is a cofactor for enzymes involved in collagen synthesis. It is necessary for the normal functioning of the skin, bones, cartilage, tooth enamel and blood vessels. Due to the loss of the ability to independently produce ascorbic acid, people are completely dependent on the intake of vitamin C from food.

The main food forms of vitamin C are L-ascorbic, D-ascorbic and dehydroascorbic acids. The content of vitamin C in vegetables and fruits and the norms of its consumption were analyzed. Vitamin C is an essential component of all green plants and the lowest daily human need for it (40 mg) can be obtained by eating any set of vegetables and fruits every day. Among the plants that are common in Europe, the highest content of the vitamin is inherent in rose hips and black currants. A relatively high content of ascorbic acid is found in strawberries, citrus fruits and various vegetables, in particular, in potatoes.

The determination of vitamin C in food systems is a complex problem due to the oxidation of ascorbic acid, even at the sample preparation stage. The stability of L-ascorbic acid in aqueous solutions can be affected by a number of factors, including exposure to light rays, temperature increases, changes in pH, and the presence of oxygen and metal ions.

Along with classical titrimetric methods, researchers use spectrophotometry, electrochemical and chromatographic methods, the advantages of which are high sensitivity, selectivity, expressiveness, and the possibility of automation. The property of L-ascorbic acid to participate in redox reactions is the basis of titrimetric methods, including iodometric titration (IODINE), dichlorophenol-indophenol titration (DCIP), titration with N-bromosuccinimide (NBS). Spectrophotometric studies are carried out at 530 nm using potassium permanganate as a chromogenic reagent. Electrochemical determination of vitamin C is carried out using mercury, gold, platinum and glass carbon electrodes. Ultra-efficient liquid chromatography (UPLC) and high-performance liquid chromatography (HPLC) are used. The UPLC method is believed to be faster, more sensitive, consumes less eluent, and is more environmentally friendly than the HPLC method. The main reason for the deviation of the results and errors is the existence of vitamin C in natural objects in several forms with different activity and chemical resistance.

Keywords: ascorbic acid, vitamin C, antioxidant, methods of analysis.

Стаття надійшла: 29.04.2024.
Після доопрацювання: 03.07.2024.
Прийнята до друку: 04.10.2024.