Scientific Journal for Publishing in Health Research and Technology

Volume 2, Issue 1, 2026, Pages: 174-185

Journal homepage: https://sjphrt.com.ly/index.php/sjphrt/en/index

Effect of Freezing on Ascorbic Acid (Vitamin C) Content in Selected Fruit Juices Determined by Iodimetric Titration

Najla Naser Benhameda [1*], Ibrahim Mustafa Elshaafi [2], Mahmood Khaled Elhraish [3]
[1,3] Department of Chemistry, Faculty of Science, Misrata University Misrata, Libya
[2] Higher Institute for Sciences & Technology- Misurata, Libya

دراسة تأثير التجميد على محتوى حمض الاسكوربيك (فيتامين*C*) في عصائر بعض الفواكه باستخدام المعايرة اليودية

نجلاء ناصر بن احميده[1]*، ابراهيم مصطفى الشعافي[2]، محمود خالد الهريش[3]
[3,1] قسم الكيمياء، كلية العلوم، جامعة مصراتة، ليبيا
[2] المعهد العالي للعلوم والتقنية-مصراتة، ليبيا

*Corresponding author: n.benhmeda@sci.misuratau.edu.ly

Received: October 25, 2025	Accepted: January 01, 2025	Published: February 02, 2026

Abstract:
This scientific study investigates the impact of the freezing process on the concentration of ascorbic acid (Vitamin C) in selected fruit juices using the iodometric titration method. The research included six varieties of fruits: guava, kiwi, orange, mango, pear, and strawberry, which were collected fresh from Misurata city markets in a suitable state of ripeness. The experimental methodology involved extracting the juice and performing an immediate chemical analysis before freezing, followed by a second analysis after three days of storage in a frozen state. The results revealed a significant variation in the initial levels of Vitamin C among the fruits. Guava recorded the highest initial concentration at 969.98 mg/L, whereas pear exhibited the lowest concentration at 27.73 mg/L. Upon analyzing the samples after the freezing period, a reduction in ascorbic acid levels was observed across all fruit juices. The degree of degradation varied significantly depending on the fruit type; orange and strawberry demonstrated the highest stability with the least percentage of loss (2.9\% and 5.9\%, respectively). In contrast, pear and mango recorded the highest loss rates, with pear losing approximately 47.6\% of its Vitamin C content. This reduction is scientifically attributed to several factors, including partial enzymatic oxidation by enzymes such as ascorbate oxidase, and structural changes in tissues caused by ice crystal formation that ruptures cell walls. Statistical analysis using ANOVA and t-tests confirmed that while freezing effectively preserves a substantial portion of the vitamin, it does not completely halt its degradation. The study concludes that the stability of Vitamin C during frozen storage is highly dependent on the specific chemical characteristics and tissue structure of each fruit.

Keywords: Ascorbic acid, Antioxidants, Iodometric titration, Thermal stability.

 Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

الملخص

تناول هذه الدراسة العلمية استقصاء تأثير عملية التجميد على تركيز حمض الأسكوربيك (فيتامين C) في عصائر فواكه مختارة باستخدام طريقة المعايرة اليودية. شمل البحث ستة أنواع من الفواكه هي: الجوافة، والكيوي، والبرتقال، والمانجو، والكمثرى، والفراولة، والتي جُمعت طازجة من أسواق مدينة مصراتة في حالة نضج مناسبة. تضمنت المنهجية التجريبية استخلاص العصير وإجراء تحليل كيميائي فوري قبل التجميد، متبوعاً بتحليل ثانٍ بعد ثلاثة أيام من التخزين في حالة التجميد. كشفت النتائج عن تباين كبير في المستويات الأولية لفيتامين C بين الفواكه المختلفة؛ حيث سجلت الجوافة أعلى تركيز ابتدائي بواقع 969.98 ملجم/لتر، بينما سجلت الكمثرى أدنى تركيز بواقع 27.73 ملجم/لتر. وعند تحليل العينات بعد فترة التجميد، لوحظ انخفاض في مستويات حمض الأسكوربيك في جميع عصائر الفواكه. وقد تفاوتت درجة التحلل بشكل كبير حسب نوع الفاكهة؛ حيث أظهر البرتقال والفراولة أعلى درجات الثبات مع أقل نسبة فقد (2.9% و5.9% على التوالي). وفي المقابل، سجلت الكمثرى والمانجو أعلى معدلات فقد، حيث فقدت الكمثرى ما يقرب من 47.6\% من محتواها من فيتامين C. يُعزى هذا الانخفاض علمياً إلى عدة عوامل، منها الأكسدة الإنزيمية الجزئية بواسطة إنزيمات مثل "أسكوربيت أوكسيديز"، والتغيرات البنيوية في الأنسجة الناتجة عن تكون بلورات الثلج التي تؤدي لتمزق جدران الخلايا. أكد التحليل الإحصائي باستخدام اختبار "ANOVA" واختبار "t" أنه على الرغم من أن التجميد يحافظ بفعالية على جزء كبير من الفيتامين، إلا أنه لا يوقف تدهوره تماماً. تخلص الدراسة إلى أن استقرار فيتامين C أثناء التخزين المبرد يعتمد بدرجة كبيرة على الخصائص الكيميائية المحددة وبنية الأنسجة لكل فاكهة.

الكلمات المفتاحية: حمض الأسكوربيك، مضادات الأكسدة، المعايرة اليودية، الثبات الحراري.

المقدمة

تُعد الفيتامينات مركبات عضوية ضرورية بكميات ضئيلة لضمان الأداء الطبيعي للتمثيل الغذائي والنمو والحفاظ على الصحة العامة، ونظراً لأن بعض الفيتامينات لا يتم إنتاجها بكميات كافية داخل جسم الإنسان أو لا تُنتج إطلاقاً، فإن الجسم يعتمد بشكل أساسي على تأمين احتياجاته منها عبر الغذاء أو المكملات الغذائية عند الحاجة. وتختلف الفيتامينات عن العناصر الغذائية الكبرى (مثل البروتينات والدهون والكربوهيدرات) في أن تأثيرها يظهر على مستوى الإنزيمات والمرافقات الإنزيمية، والهرمونات، وآليات نقل الإلكترون والأكسدة والاختزال داخل الخلايا، مما يجعلها عوامل حيوية في تحويل الطاقة وبناء الأنسجة والدفاعات المناعية (Barker, 2023). وتُصنف الفيتامينات إلى مجموعتين رئيسيتين بحسب ذوبانها:

1. **الفيتامينات الذائبة في الدهون:** وتشمل (A، D، E، K)، وتمتاز بأنها تُخزن في الأنسجة الدهنية والكبد، ولها خصائص امتصاص مرتبطة بالشحوم والصفراء، مما قد يعرض الجسم لمخاطر السمية عند تناول جرعات عالية، كما تمتاز بفترات نصف عمر طويلة داخل الجسم (Andrès et al., 2024).
2. **الفيتامينات الذائبة في الماء:** وتضم فيتامين C ومجموعة فيتامينات B (B1, B2, B3, B5, B6, B7, B9, B12)، وهي لا تُخزن بكميات كبيرة في الجسم حيث تُطرح الفوائض منها عبر البول، ولها أهمية حيوية في عمليات الأكسدة والاختزال ونقل الإلكترون وتخليق الأحماض النووية والتمثيل الغذائي للطاقة. ويؤدي نقص أي منها إلى اضطرابات صحية محددة مثل فقر الدم الضخم الأرومات (نقص B12 أو حمض الفوليك) والكساح أو الاعتلال العصبي (Pei et al., 2023).

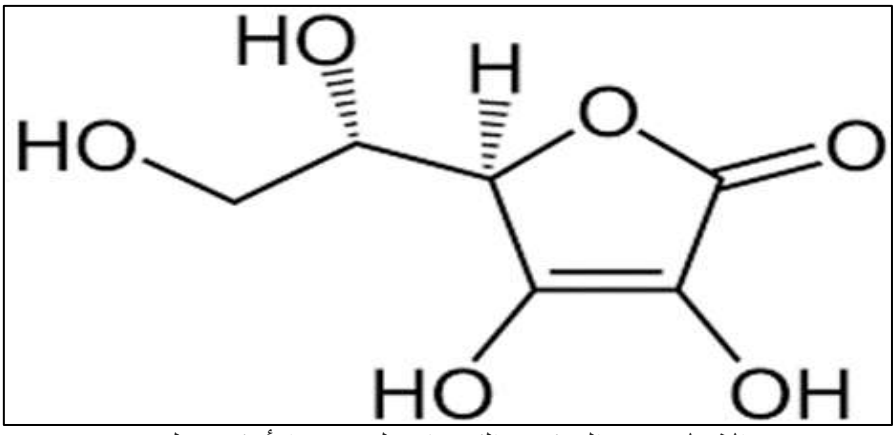
تُعد الفيتامينات من الركائز الأساسية للعديد من التفاعلات الأيضية والوظائف الخلوية؛ فهي تشارك كمعاملات مساعدة في التحولات الإنزيمية، وتضمن فعالية الإنزيمات في بناء الأنسجة، وتجديد الخلايا، وإنتاج الطاقة. وقد أوضحت مراجعات حديثة أن العديد من الفيتامينات والمعادن تلعب دوراً محورياً في إنتاج الطاقة الخلوية، ونقل الأكسجين، وتنظيم الإجهاد التأكسدي؛ وبمعنى آخر، قد يحصل الجسم على

 Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

السعرات الحرارية الكافية، ولكن في حالة نقص الفيتامينات اللازمة، فإن الأداء الأيضي يتباطأ، وتظهر أعراض مثل التعب أو ضعف الأداء البدني والذهني (Binquryan et al., 2024).
كما تلعب الفيتامينات دوراً محورياً في دعم جهاز المناعة، ومواجهة الالتهابات، والحفاظ على الحواجز المناعية ضد العدوى. فقد بينت دراسات حديثة أن فيتامينات مثل (A، C، D)، إلى جانب بعض المعادن، ترتبط بتحسين وظائف المناعة (Cámara et al., 2021). وبالتالي، يُعد الحصول الكافي على الفيتامينات شرطاً أساسياً للحفاظ على مقاومة الجسم للأمراض، ولتحسين الاستجابة المناعية عند المرض أو في حالات النقص الغذائي (Bangale et al., 2025).
علاوة على ذلك، تُعد الفيتامينات ضرورية للنمو الكامل والتطور السليم في الفترات الحساسة من الحياة مثل مرحلتي الطفولة والمراهقة؛ حيث ركزت الأبحاث على أن الفيتامينات والمغذيات الدقيقة لها تأثير مباشر على النمو وتطور الجهاز العصبي لدى الأطفال (Hong, 2025). كما ترتبط الفيتامينات القابلة للذوبان في الدهون (مثل A وD) بصحة العظام، والبصر، والجلد، وسلامة الأنسجة المختلفة (Darnton-Hill, 2019). ولم تعد الفيتامينات مجرد عناصر داعمة، بل أصبحت تُدرس كعوامل محتملة في الوقاية من الأمراض المزمنة مثل أمراض القلب، والسكري، وبعض أنواع السرطان. وقد تناولت دراسات منشورة حديثاً دور المغذيات الدقيقة في الوقاية من الأمراض المزمنة، مشيرةً إلى قدرتها على خفض الإجهاد التأكسدي، وتنظيم العمليات الالتهابية، والمساهمة في الوظائف الخلوية السليمة (Pandarinathan et al., 2024).

حمض الأسكوربيك (فيتامين C)

يُعد حمض الأسكوربيك مركباً عضوياً قابلاً للذوبان في الماء، وهو من الفيتامينات الأساسية التي لا يمكن لجسم الإنسان تصنيعها، لذا يجب الحصول عليه من الغذاء (خاصة الفواكه والخضراوات الطازجة). يلعب حمض الأسكوربيك دوراً حيوياً في تكوين الكولاجين، ودعم الجهاز المناعي، والمساعدة في امتصاص الحديد، كما يعمل كمضاد أكسدة قوي يحمي الخلايا من التلف التأكسدي (Yin et al., 2022).



الشكل (1): التركيب الكيميائي لحمض الأسكوربيك.

تتمثل الصيغة الكيميائية لحمض الأسكوربيك في $C_6H_8O_6$، ويتميز بوجود مجموعة (Enediol) التي تمنحه القدرة على التبرع بالإلكترونات. وعند فقدانه لإلكترونين، يتحول إلى حمض الديهيدرواسكوربيك (DHA)، وهو منتج أكسدة قد يتحلل لاحقاً إلى مركبات أصغر تفقد النشاط الفيتاميني؛ وهذا السلوك يفسر كونه مضاد أكسدة فعالاً وفي الوقت ذاته عرضة للفقدان أثناء المعالجة أو التخزين (Roy et al., 2024).
ومن أهم المسارات الكيميائية لفقدان حمض الأسكوربيك هي الأكسدة إلى DHA ثم التحلل إلى نواتج لا رجعة فيها، وتزداد سرعة هذه المسارات بوجود الأكسجين المذاب، ودرجات الحرارة المرتفعة، والضوء، والمعادن الانتقالية مثل الحديد والنحاس التي تعمل كعوامل حفازة، كما تؤثر الحموضة (pH) على استقراره وقابليته للأكسدة، مما يفرض ضرورة التعامل مع العينات بسرعة وفي ظروف مبردة ومظلمة (Yin et al., 2022).

 Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

الخصائص الفيزيائية والكيميائية

يظهر حمض الأسكوربيك كمادة صلبة بيضاء إلى صفراء فاتحة ذات طعم حامض حاد، ويتبلور في شكل بلوري مرتبط بشبكة واسعة من الروابط الهيدروجينية الداخلية. تبلغ الكتلة الجزيئية لحمض الأسكوربيك 176.12 جم/مول، ونقطة انصهاره تتراوح بين 190-194 درجة مئوية. يذوب بسهولة في الماء بينما يكاد يكون غير ذائب في المذيبات العضوية غير القطبية مثل البنزين والإيثر. يُصنف كحمض ضعيف (pKa1 ≈ 4.1-4.2)، مما يؤدي لتحوله إلى أنيون الأسكوربات عند ارتفاع الرقم الهيدروجيني، وهو ما يؤثر مباشرة على استقراره الكيميائي. كما يمتص حمض الأسكوربيك الأشعة فوق البنفسجية بقمم تتراوح بين 245-265 نانومتر اعتماداً على الوسط (Galvão et al., 2018; Hassan et al., 2018).

الوظائف الحيوية والمصادر الغذائية

يساهم فيتامين C في تعزيز جهاز المناعة، ويحسن امتصاص الحديد غير الهيمي من المصادر النباتية، مما يساعد في الوقاية من فقر الدم. وبالإضافة إلى الوظائف البيولوجية، يُستخدم حمض الأسكوربيك كمادة مضادة للأكسدة في الصناعات الغذائية والصيدلانية للحفاظ على ثبات الألوان والنكهات (Sorice et al., 2014). ويتوفر بكثرة في الحمضيات (البرتقال، الليمون)، الكيوي، الفراولة، المانجو، وفي الخضراوات مثل الفلفل الحلو، البروكلي، والسبانخ (Kodentsova, 2013 & Kosheleva).

وقد حُددت الكمية الغذائية اليومية الموصى بها (RDA) بحوالي 90 ملغ للذكور و75 ملغ للإناث، وتزداد هذه الحاجة أثناء الحمل والرضاعة (Frei, 1999 & Carr). وتعتبر الفواكه مصدراً غنياً بفيتامين C بتركيزات تتفاوت تبعاً لنوع الفاكهة، ومرحلة النضج، وظروف التخزين؛ حيث تحتوي الفواكه الاستوائية مثل الجوافة والكيوي على نسب عالية مقارنة بالكمثرى (Kader, 2000; Rickman et al., & Lee 2007).

أهداف البحث

يهدف هذا البحث إلى:

1. دراسة تأثير التجميد على محتوى حمض الأسكوربيك (فيتامين C) في عصائر الفاكهة عبر تقدير تركيزه مباشرة بعد العصر ثم إعادة تقديره بعد التجميد باستخدام طريقة المعايرة باليود.
2. تطبيق الأساليب الإحصائية المناسبة لتحليل بيانات التركيز وتقييم الدلالة الإحصائية للفروق بين العينات المختلفة.

2. المواد وطرق العمل (Materials and Methods)

1.2. جمع وتجهيز العينات

تَمّ جمع ست عينات من الفواكه الطازجة من السوق المحلي بمدينة مصراتة خلال شهر نوفمبر. اختيرت الثمار في حالة نضج متجانسة وفي حالة فيزيائية سليمة لضمان جودة العصير الممثل للمادة الخام. غُسلت الفواكه جيداً بالماء المقطر لإزالة العوالق والشوائب السطحية، ثم جُففت بعناية، وقُطعت إلى أجزاء صغيرة وعُصرت فوراً باستخدام عصارة منزلية كهربائية لتقليل تعرض حمض الأسكوربيك للأكسجين والضوء، مما يقلل من معدل فقدانه (Rickman et al., 2007). وُضعت العصائر في عبوات زجاجية معتمة ومحكمة الإغلاق، وأعطيت رموزاً تعريفية لتسهيل تتبعها خلال مراحل الدراسة كما يوضحه الجدول (1).

جدول (1): عينات الفواكه المستخدمة في الدراسة والرموز التعريفية الخاصة بها

اسم العينة	الرمز
الجوافة	A1
الكيوي	A2
البرتقال	A3
المانجو	A4
الكمثرى	A5
الفراولة	A6

 Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

2.2. المواد والأدوات المستخدمة

استُخدمت في هذه الدراسة كواشف كيميائية ذات درجة نقاوة تحليلية (Analytical Grade)، وشملت: اليود (I_2)، يوديد البوتاسيوم (KI)، النشا القابل للذوبان، حمض الميتافوسفوريك، وحمض الخليك الثلجي، بالإضافة إلى الماء المقطر. كما استُخدمت أدوات زجاجية معيرة تشمل سحاحات، ودوارق مخروطية (50 مل)، وماصات حجمية (10 مل).

2.3. تحضير المحاليل القياسية

2-3-1- تحضير دليل النشا (0.5%):

حُضر الدليل بإذابة 0.5 جم من النشا في 100 مل من الماء المقطر المغلي، مع التحريك المستمر لمدة 5 دقائق حتى الحصول على محلول متجانس، ثم تُرِك ليبرد قبل الاستخدام.

2-3-2- تحضير محلول اليود القياسي (0.005 N):

تَمّ وزن 1 جم من يوديد البوتاسيوم و0.6345 جم من بلورات اليود، وأُذيبا في كمية قليلة من الماء المقطر، ثم نُقل المحلول إلى دورق قياسي سعة 1 لتر وأُكمل الحجم بالماء المقطر (Hassan et al., 2018).

2-3-3- تحضير خليط الأحماض المستقر:

تَمّ تحضير محلول مكون من حمض الميتافوسفوريك (3%) وحمض الخليك (8%)، وذلك بإذابة 3 جم من حمض الميتافوسفوريك في الماء المقطر مع إضافة 8 مل من حمض الخليك، ثم استكمال الحجم إلى 100 مل في دورق قياسي. يعمل هذا الخليط على تثبيت حمض الأسكوربيك ومنع أكسدته الإنزيمية أثناء عملية التحليل.

2-4- تقدير حمض الأسكوربيك (فيتامين C)

تتعدد طرق تقدير فيتامين C بناءً على طبيعة العينة والتركيز المتوقع؛ فبينما تُستخدم التقنيات الآلية مثل (HPLC) أو الطرق الطيفية للتركيزات الضئيلة، تُعد الطرق الحجمية (المعايرة) هي الأكثر دقة وكفاءة للتركيزات العالية المتوفرة في عصائر الفاكهة (Yin et al., 2022). اعْتُمِدت في هذا البحث طريقة المعايرة باليود (Iodometric Titration) القائمة على تفاعل الأكسدة والاختزال؛ حيث يتأكسد حمض الأسكوربيك إلى حمض الديهيدرواسكوربيك، وعند استهلاك كامل كمية الحمض، يتفاعل اليود الفائض مع دليل النشا مكوناً معقداً أزرق اللون يشير إلى نقطة نهاية المعايرة.

2-4-1- خطوات المعايرة:

1. نُقل 10 مل من عينة العصير إلى دورق مخروطي سعة 50 مل.
2. أُضيف 10 مل من خليط الأحماض المثبت و1 مل من دليل النشا.
3. تَمّت المعايرة بمحلول اليود (0.005 N) حتى ظهور لون أزرق ثابت لمدة 30 ثانية على الأقل.
4. كُررت التجربة ثلاث مرات لكل عينة لضمان الدقة، وحُسب المتوسط الحسابي.

حساب التركيز:

يُحسب تركيز حمض الأسكوربيك (ملجم/لتر) باستخدام الصيغة التالية:

$$\text{Concentration (mg/L)} = N * V * Eq.wt * 1000$$

(حيث N: عيارية اليود، V: حجم اليود المستهلك، Eq.wt: الوزن المكافئ لحمض الأسكوربيك).

2-5- التحليل الإحصائي

أُخضعت البيانات الناتجة لتحليل إحصائي شامل لتقييم معنوية الفروق؛ حيث استُخدم المتوسط الحسابي (X) والانحراف المعياري (SD) لوصف البيانات. تَمّ تطبيق اختبار (t-test) للمقارنة بين تركيز الفيتامين قبل وبعد التجميد لكل نوع، كما استُخدم تحليل التباين الأحادي (One-Way ANOVA) للمقارنة بين أنواع الفاكهة المختلفة. اعْتُبِرت النتائج ذات دلالة إحصائية عند مستوى ($P < 0.05$). تَمّت معالجة البيانات باستخدام برمجيات إحصائية متخصصة، وعُرِضت النتائج في جداول وأشكال بيانية لتسهيل التفسير العلمي.

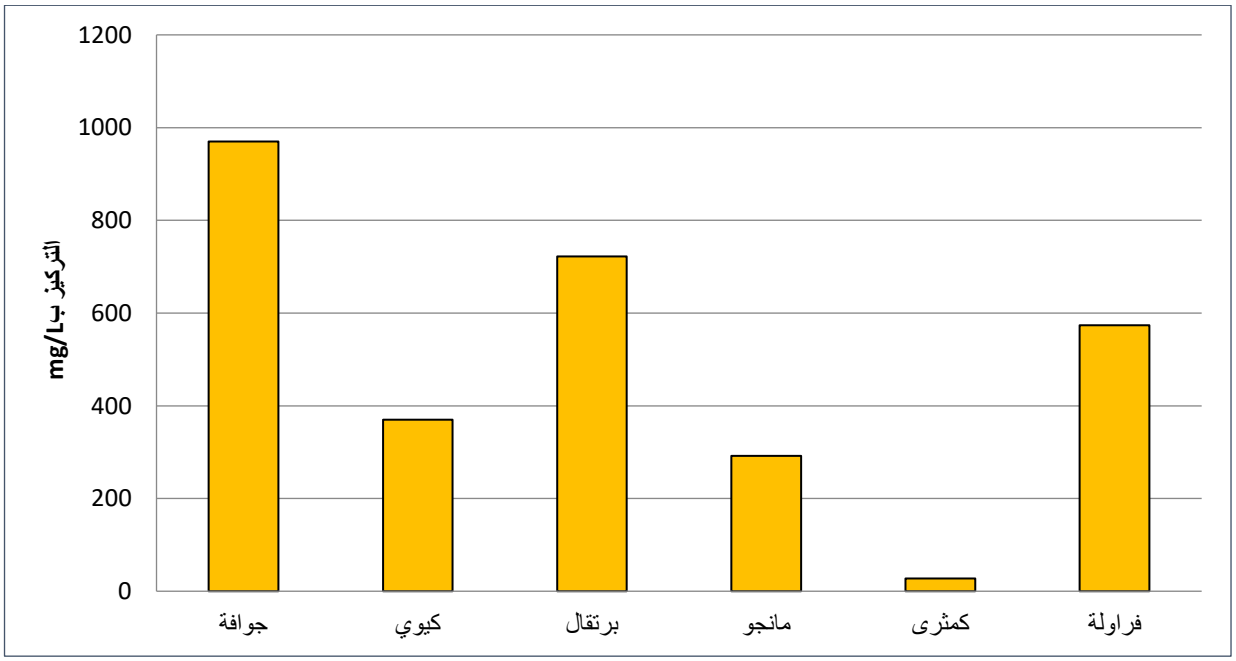
 Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

3. النتائج

يستعرض هذا الفصل النتائج المتحصل عليها من تحليل تركيز حمض الأسكوربيك في عينات العصير قبل التجميد مباشرة، وبعد عملية التجميد لمدة ثلاثة أيام، باستخدام طريقة المعايرة باليود. يهدف عرض النتائج إلى توضيح تأثير التجميد على محتوى فيتامين (C) من خلال مقارنة القيم التجريبية بين الحالتين. تعكس القيم المقاسة قبل التجميد المحتوى الطبيعي للفيتامين في العصير الطازج، في حين تمثل القيم بعد التجميد مدى استقرار حمض الأسكوربيك تحت ظروف الحفظ بالبرودة. وتتم مناقشة هذه النتائج بالاعتماد على السلوك الكيميائي لحمض الأسكوربيك، ومدى حساسيته للأكسدة، وتأثير انخفاض درجة الحرارة على معدل تفاعلات التحلل، إضافة إلى مقارنة النتائج مع ما ورد في الدراسات السابقة التي تناولت تأثير التجميد على المركبات الحساسة للأكسدة.

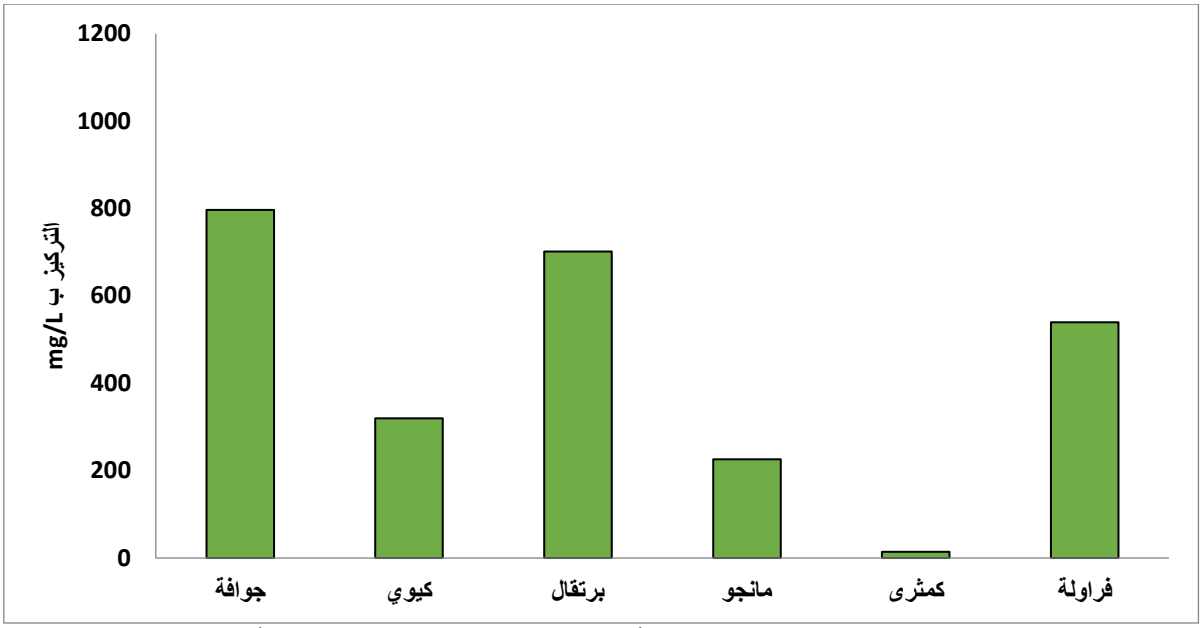
جدول (2): تركيز حمض الأسكوربيك (mg/L) ونسبة الفقد المئوية في عينات العصير قبل وبعد التجميد

نوع الفاكهة	الرمز	التركيز قبل التجميد (mg/L)	التركيز بعد التجميد (mg/L)	نسبة الانخفاض (%)	ملاحظات
الجوافة	A1	969.98	796.94	%17.84	انخفاض كبير في المحتوى
الكيوي	A2	369.85	319.65	%13.57	انخفاض متوسط
البرتقال	A3	722.09	701.39	%2.87	أقل نسبة انخفاض (ثبات عالٍ)
المانجو	A4	291.91	225.87	%22.62	انخفاض ملحوظ
الكمثرى	A5	27.73	14.52	%47.64	أكبر نسبة نقصان (أقل ثبات)
الفراولة	A6	573.71	539.80	%5.91	انخفاض طفيف



الشكل (2): يوضح توزيع تراكيز حمض الأسكوربيك في عينات الفواكه المختلفة قبل عملية التجميد، حيث تصدرت الجوافة القائمة كأغنى المصادر، تلاها البرتقال، بينما كانت الكمثرى هي الأقل محتوى.

 Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



الشكل (3): يوضح التغير في تراكيز حمض الأسكوربيك بعد التجميد لمدة ثلاثة أيام، ويظهر بوضوح تراجع الأعمدة البيانية لجميع العينات، مما يشير إلى حدوث عملية تحلل جزئي للفيتامين نتيجة ظروف التخزين المبرد، مع بقاء التراتبية النسبية للمحتوى بين الأنواع كما هي تقريباً.

4- المناقشة

أظهرت نتائج الدراسة الحالية اختلافات واضحة في تراكيز حمض الأسكوربيك (فيتامين C) بين أنواع الفواكه المدروسة قبل وبعد عملية التجميد، حيث لوحظ انخفاض متفاوت في تركيز الفيتامين بعد التجميد في جميع العينات. ويعزى هذا الانخفاض إلى حساسية حمض الأسكوربيك لعمليات الأكسدة والإنزيمات وتأثيرات الحرارة والضوء أثناء عمليات التحضير والتخزين، وهو ما تؤكده العديد من الدراسات السابقة.

يوضح الجدول (2) أن جميع الفواكه أظهرت انخفاضاً في تركيز حمض الأسكوربيك بعد التجميد، كما أن النسبة المئوية لنقصان التركيز تختلف بشكل كبير حسب نوع الفاكهة.

سجلت فاكهة الجوافة أعلى تركيز لحمض الأسكوربيك قبل التجميد (969.98 mg/L)، وهو ما يتماشى مع الدراسات التي أشارت إلى أن الجوافة تعد من أغنى الفواكه بفيتامين C؛ فقد ذكر (Firdous et al., 2010) أن الجوافة تحتوي على مستويات مرتفعة من حمض الأسكوربيك مقارنة ببقية الفواكه الحمضية، وذلك بسبب تركيبها الغني بمضادات الأكسدة وطبيعة أنسجتها التي تحتفظ بالفيتامين. أما أقل تركيز فقد سُجل في الكمثرى، التي تُعد من الفواكه منخفضة المحتوى من فيتامين C مقارنة بالفواكه الحمضية والتوتيات، بينما أظهرت الفراولة والبرتقال والكيوي مستويات متوسطة، وهو ما أكدت عليه دراسات عديدة أشارت إلى أن الفراولة والكيوي مصدران جيدان لفيتامين C، إلا أن تركيزهما أقل من الجوافة وأعلى من المانجو والكمثرى (Saeed, 2022; Szeto et al., 2002 & Alsarahe).

يشير ذلك إلى أن التجميد، أو العمليات التي تسبق وتلي التجميد (مثل التقطيع والتعرض للهواء)، تؤثر على حمض الأسكوربيك، لكن التأثير يعتمد على نوع الفاكهة وتركيبها. ومن أهم العوامل التي تؤثر على مدى فقدان فيتامين C عند التجميد:

- **الأكسدة الكيميائية:** عند عصر أو تقطيع الفواكه قبل التجميد، تُفتح الخلايا ويُعرض حمض الأسكوربيك للأكسجين والضوء، مما يحفز تحوله إلى الشكل المؤكسد (Dehydro-ascorbic acid) ثم إلى منتجات غير فعالة غذائياً. وقد أشارت دراسات عديدة إلى أن التعرض للأكسجين والظروف البيئية قبل التجميد يعد من أهم أسباب تدهور فيتامين C (Zee et al., 1991).
- **النشاط الإنزيمي الداخلي:** تظل بعض إنزيمات الفاكهة، مثل (Ascorbate oxidase)، فعالة في المرحلة التي تسبق التجمد الكامل، وتؤدي إلى أكسدة حمض الأسكوربيك بشكل سريع. هذا النشاط يمكن أن يتسبب في فقد كبير للفيتامين حتى قبل أن تتجمد العينات تماماً. وفي دراسة على عصائر

 Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

الفواكه المخزنة مجمدة، تم تسجيل انخفاض في فيتامين C مرتبط بهذا النشاط الإنزيمي (Feszterová et al., 2023).

- **بنية أنسجة الفاكهة:** تلعب بنية الأنسجة دوراً رئيسياً؛ فأثناء التجميد تتكون بلورات ثلجية داخل الأنسجة، مما يؤدي إلى تمزق جدران الخلايا وإطلاق محتوياتها (ماء، إنزيمات، مضادات أكسدة) في وسط متحول. هذا التمزق يسهل التفاعلات الكيميائية أو الإنزيمية التي تؤدي إلى تدهور فيتامين C، خاصة في الفواكه ذات الأنسجة الرخوة. وأظهرت دراسة على حصاد الفواكه المجمدة أن هذا التغير البنيوي يشكل أحد أسباب فقد الفيتامين مع الزمن (Popescu et al., 2018).

5.التحليل الإحصائي:

جدول (3): متوسط تركيز حمض الأسكوربيك (ملجم/لتر) قبل وبعد التجميد

اسم العينة	الرمز	المتوسط قبل التجميد	المتوسط بعد التجميد
الجوافة	A1	22.03	18.10
الكيوي	A2	8.43	7.27
البرتقال	A3	16.40	15.93
المانجو	A4	6.63	5.13
الكمثرى	A5	0.63	0.33
الفراولة	A6	13.03	12.27
المتوسط العام		**11.19**	**9.84**

جدول (4): النسبة المئوية لانخفاض التركيز بعد التجميد

اسم العينة	نسبة المئوية لانخفاض التركيز
الجوافة	%17.85
الكيوي	%13.83
البرتقال	%2.85
المانجو	%22.61
الكمثرى	%47.37
الفراولة	%5.88

أدى التجميد إلى تقليل تركيز الفيتامينات في جميع العصائر لكن بدرجات مختلفة؛ حيث يظهر من الجدول أن أكثر الأنواع تأثراً هو الكمثرى بفقدان ما يقارب 47.37% من التركيز، يليه المانجو. بينما كان البرتقال والفراولة أقل الأنواع تأثراً، مما يشير إلى امتلاكهما مقاومة عالية لفقد الفيتامين أثناء الحفظ بالتجميد.

أولاً: المقارنة العامة للمتوسطات (بدون إدخال النوع)

تم إجراء تحليل التباين الأحادي (ANOVA) للمقارنة بين متوسطات كافة العصائر قبل وبعد التجميد ككتلة واحدة:

 Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

جدول (5): نتائج تحليل ANOVA للمقارنة العامة قبل وبعد التجميد

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	5.51	1	5.51	0.11	0.75	4.96
Within Groups	518.3	10	51.83			
Total	**523.8**	**11**				

التحليل :بالرغم من انخفاض المتوسط من (11.19) إلى (9.84)، إلا أن قيمة (P-value = 0.75) أكبر من (0.05)، مما يعني عدم وجود فرق معنوي إحصائي عند دمج كافة الأنواع معاً، وذلك بسبب التشتت الطبيعي العالي بين محتوى الفواكه المختلفة.

ثانياً: المقارنة مع الأخذ في الاعتبار نوع العصير

عند تحليل البيانات مع مراعاة نوع الفاكهة كعامل مؤثر، أظهرت النتائج فروقاً جوهرية:

جدول (6): نتائج تحليل ANOVA مع الأخذ في الاعتبار نوع العصير

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	513.8	5	102.8	61.7	0.00004	4.39
Within Groups	10.0	6	1.7			
Total	**523.8**	**11**				

التحليل :قيمة (P = 0.00004) أقل بكثير من (0.05)، مما يؤكد وجود فروق ذات دلالة إحصائية عالية جداً بين أنواع الفواكه؛ أي أن نوع العصير هو المحدد الأساسي لكمية الفيتامين المفقودة.

ثالثاً: المقارنة التفصيلية (قبل التجميد وبعده كلاً على حدة)

جدول (7): تحليل ANOVA للفروق بين الأنواع قبل التجميد

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	863.78	5	172.76	496.74	1.8E-13	3.11

جدول (8): تحليل ANOVA للفروق بين الأنواع بعد التجميد

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	691.19	5	138.24	649.68	3.6E-14	3.106

تم إجراء تحليل التباين (ANOVA) لكل حالة بشكل منفصل لتقييم مدى تأثر التباين النوعي بين العصائر بعملية التجميد، وجاءت النتائج كالتالي:

الفروق بين العصائر قبل التجميد

أظهرت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروق ذات دلالة إحصائية قوية جداً بين أنواع العصائر المختلفة قبل تعريضها لعملية التجميد، حيث بلغت قيمة الاختبار المحسوبة (F = 496.74) عند مستوى دلالة (P-value = 1.8 *10^{-13})، وهي قيمة أقل بكثير من مستوى المعنوية المعتمد .(0.05) وتشير هذه النتيجة

 Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

إلى التأثير الجوهري لنوع الفاكهة على المحتوى الابتدائي لفيتامينC ؛ حيث سجلت الجوافة أعلى متوسط تركيز، تلاها البرتقال ثم الفراولة، بينما استقرت الكمثرى عند أدنى مستويات التركيز.

تأثير التجميد على تركيز الفيتامين

بعد مرور ثلاثة أيام من التجميد، كشفت البيانات عن انخفاض في تركيز حمض الأسكوربيك في كافة العينات، ولكن بدرجات متفاوتة. وعلى الرغم من هذا التراجع الكمي، أظهر تحليل (ANOVA) للقيم بعد التجميد أن الفروق بين أنواع العصائر ظلت معنوية للغاية، حيث بلغت قيمة ($F = 649.68$) عند مستوى دلالة.($P = 3.6 * 10^{-14}$)

ويلاحظ من التحليل الإحصائي أن قيمة (F) المحسوبة بعد التجميد كانت أعلى من مثيلتها قبل التجميد، وهو مؤشر إحصائي هام يعكس أن عملية التجميد لم تؤدِّ إلى فقدان الفيتامين فحسب، بل زادت من "وضوح التباين" بين العصائر؛ مما يؤكد تفاوت المقاومة الكيميائية والفيزيائية لأنسجة هذه الفواكه تجاه ظروف التخزين المبرد.

6.الاستنتاجات

خلصت هذه الدراسة من خلال التقييم التحليلي والإحصائي لتأثير التجميد على محتوى حمض الأسكوربيك (فيتامين C) في عصائر الفواكه المختارة إلى الاستنتاجات التالية:

1. **تباين المحتوى الطبيعي :**أظهرت الفواكه المدروسة تبايناً جوهرياً في تركيز فيتامين C قبل التجميد، حيث تصدرت الجوافة القائمة كأغنى المصادر الطبيعية، بينما سجلت الكمثرى أدنى التراكيز، وهو ما يعكس الاختلافات البيولوجية والتركيبية لكل نوع.
2. **حساسية الفيتامين للتجميد :**أدى التجميد لمدة ثلاثة أيام إلى انخفاض في تركيز حمض الأسكوربيك في جميع العينات دون استثناء، مما يؤكد حساسية هذا المركب لعمليات الحفظ بالبرودة وما يصاحبها من أكسدة كيميائية ونشاط إنزيمي متبقٍ.
3. **تفاوت معدلات الفقد :**أثبتت الدراسة أن نسبة الفقد لا تعتمد على درجة الحرارة فحسب، بل على نوع الفاكهة؛ فقد أظهر البرتقال والفراولة مقاومة عالية للفقد (أقل من 6%)، بينما كانت الكمثرى والمانجو الأكثر تأثراً، حيث فقدت الكمثرى ما يقارب نصف محتواها من الفيتامين.
4. **الدلالة الإحصائية :**أكد التحليل الإحصائي (ANOVA) أن نوع الفاكهة هو المتغير الحاسم في تحديد استقرار الفيتامين، حيث زادت الفروق الإحصائية بين الأنواع وضوحاً بعد التجميد، مما يشير إلى أن بعض الأنسجة النباتية توفر حماية أفضل للفيتامين ضد التحلل أثناء التجميد.

7. التوصيات

بناءً على النتائج المستخلصة، توصي الدراسة بالآتي:

1. **الاستهلاك الطازج :**يفضل استهلاك عصائر الفواكه (خاصة الكمثرى والمانجو) طازجة فور عصرها لضمان الحصول على أقصى استفادة من محتواها الغذائي من فيتامين.C
2. **تحسين طرق الحفظ :**في حال الضرورة للتجميد، يوصى بتقليل مدة التخزين قدر الإمكان، أو استخدام تقنيات التجميد السريع التي قد تساعد في تقليل تمزق الأنسجة الخلوية وبالتالي تقليل الفقد الإنزيمي.
3. **التوعية الغذائية :**ضرورة توعية المستهلكين بأن التجميد المنزلي، وإن كان يحافظ على جودة الفاكهة ظاهرياً، إلا أنه قد يقلل من القيمة الغذائية للمركبات الحساسة للأكسدة.
4. **الدراسات المستقبلية :**تقترح الدراسة إجراء بحوث إضافية تتناول تأثير فترات تجميد أطول (أسابيع أو أشهر)، ودراسة تأثير إضافة المواد الحافظة الطبيعية (مثل حمض الستريك) في تعزيز استقرار حمض الأسكوربيك أثناء التخزين المبرد.

Compliance with ethical standards

Disclosure of conflict of interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

 Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

References

[1] Alsarahe, A. T. A., & Saeed, A. M. A. (2022). Determination of Vitamin C concentration in some citrus and non-citrus fruits by titration and high performing liquid chromatography (HPLC) Methods. *Humanities & Natural Sciences Journal*, 3(2), 788-796.

[2] Andrès, E., Lorenzo-Villalba, N., et al. (2024). Fat-soluble vitamins A, D, E, and K: review of the literature and points of interest for the clinician. *Journal of Clinical Medicine*, 13(13), 3641.

[3] Bangale, N., Gupta, A., et al. (2025). The Role of Micronutrients in Immune Function and Health: Insights from Healthcare Professionals on Multivitamin-Multimineral Supplementation. *European Journal of Nutrition and Food Safety*, 17(2), 84-106.

[4] Barker, T. (2023). Vitamins and human health: systematic reviews and original research. *MDPI*, 15, 2888.

[5] Binquryan, N. A. S., Almaqattar, M. S. M., et al. (2024). The Role of Micronutrients in Modulating Biochemical Pathways and Their Impact on Metabolic Health. *Egyptian Journal of Chemistry*, 67(13), 1731-1741.

[6] Cámara, M., Sánchez-Mata, M. C., et al. (2021). A review of the role of micronutrients and bioactive compounds on immune system supporting to fight against the COVID-19 disease. *Foods*, 10(5), 1088.

[7] Carr, A. C., & Frei, B. (1999). Toward a new recommended dietary allowance for vitamin C based on antioxidant and health effects in humans. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 69(6), 1086-1107.

[8] Carr, A. C., & Maggini, S. (2017). Vitamin C and immune function. *Nutrients*, 9(11), 1211.

[9] Darnton-Hill, I. (2019). Public health aspects in the prevention and control of vitamin deficiencies. *Current Developments in Nutrition*, 3(9), nzz075.

[10] Davey, M. W., Montagu, M. V., et al. (2000). Plant L-ascorbic acid: chemistry, function, metabolism, bioavailability and effects of processing. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(7), 825-860.

[11] Du, J., Cullen, J. J., et al. (2012). Ascorbic acid: chemistry, biology and the treatment of cancer. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Reviews on Cancer*, 1826(2), 443-457.

[12] Feszterová, M., Kowalska, M., et al. (2023). Stability of vitamin C content in plant and vegetable juices under different storing conditions. *Applied Sciences*, 13(19), 10640.

[13] Firdous, S., Abdullah, N., et al. (2010). Effect of Storage temperature and Time on the vitamin C contents of selected fruits and vegetables: vitamin C in fruits and Vegetable. *Biological Sciences-PJSIR*, 53(4), 218-222.

[14] Galvão, A. C., Robazza, W. S., et al. (2018). Solubility and thermodynamics of vitamin C in binary liquid mixtures involving water, methanol, ethanol and isopropanol at different temperatures. *The Journal of Chemical Thermodynamics*, 121, 8-16.

[15] Hassan, S., Adam, F., et al. (2018). Thermal Characteristic Evaluation of Different Ascorbic acid Crystal Habits. *Journal of Chemical Engineering and Industrial Biotechnology*, 3(1), 50-59.

[16] Hong, S. (2025). Essential micronutrients in children and adolescents with a focus on growth and development: a narrative review. *Journal of Yeungnam Medical Science*, 42.

[17] Kosheleva, O., & Kodentsova, V. (2013). Vitamin C in fruits and vegetables. *Voprosy Pitaniia*, 82(3), 45-52.

 Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

[18] Lee, S. K., & Kader, A. A. (2000). Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology*, 20(3), 207-220.

[19] Levine, M., Conry-Cantilena, C., et al. (1996). Vitamin C pharmacokinetics in healthy volunteers: evidence for a recommended dietary allowance. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 93(8), 3704-3709.

[20] Padayatty, S. J., Katz, A., et al. (2003). Vitamin C as an antioxidant: evaluation of its role in disease prevention. *Journal of the American College of Nutrition*, 22(1), 18-35.

[21] Pandarinathan, S., Khatri, A., et al. (2024). Role of micronutrients in preventing chronic diseases: A review. *European Journal of Nutrition and Food Safety*, 16(12), 159-178.

[22] Pei, X., Yao, J., et al. (2023). Association of serum water-soluble vitamin exposures with the risk of metabolic syndrome: results from NHANES 2003-2006. *Frontiers in Endocrinology*, 14, 1167317.

[23] Phillips, K. M., Tarrago-Trani, M. T., et al. (2010). Stability of vitamin C in frozen raw fruit and vegetable homogenates. *Journal of Food Composition and Analysis*, 23(3), 253-259.

[24] Popescu, E. C., Barascu, E., Et Al. (2018). Effect Of Freezing And Storage On The Retention Of Vitamin C, B-Caroten And Pectic Substances From The Sea Buckthorn Fruits (Hippophaë Rhamnoides L). *Journal Of Science And Arts*, 18(2), 481-488.

[25] Rickman, J. C., Barrett, D. M., et al. (2007). Nutritional comparison of fresh, frozen and canned fruits and vegetables Part 1 Vitamins C and B and phenolic compounds. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(6), 930-944.

[26] Roy, D., Johnson, H. M., et al. (2024). Exploring the Complex Chemistry and Degradation of Ascorbic Acid in Aqueous Nanoparticle Synthesis. *Angewandte Chemie International Edition*, 63(52), e202412542.

[27] Sorice, A., Guerriero, E., et al. (2014). Ascorbic acid: its role in immune system and chronic inflammation diseases. *Mini Reviews in Medicinal Chemistry*, 14(5), 444-452.

[28] Szeto, Y. T., Tomlinson, B., et al. (2002). Total antioxidant and ascorbic acid content of fresh fruits and vegetables: implications for dietary planning and food preservation. *British Journal of Nutrition*, 87(1), 55-59.

[29] Yin, X., Chen, K., et al. (2022). Chemical stability of ascorbic acid integrated into commercial products: A review on bioactivity and delivery technology. *Antioxidants*, 11(1), 153.

[30] Zee, J., Carmichael, L., et al. (1991). Effect of storage conditions on the stability of vitamin C in various fruits and vegetables produced and consumed in Quebec. *Journal of Food Composition and Analysis*, 4(1), 77-86.

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions, and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of **SJPHRT** and/or the editor(s). **SJPHRT** and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions, or products referred to in the content.

 Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).