Food Research Journal

Online ISSN: 2676-5691 Print ISSN: 2008-515X
https://foodresearch.tabrizu.ac.ir

Effect of bioactive compounds on oxidative and lipolytic stability in cow's milk-based functional drink

Boukaga Farmani[1]✉, Samad Bodbodak[1] and Fereshteh Salmani[2]

[1]Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Ahar Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tabriz, Tabriz, Iran
[2]MSc student in Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Iran
✉ Corresponding author: bfarmani@tabrizu.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 2025-04-07
Revised: 2025-11-07
Accepted: 2025-12-07

Keywords:
Bioactive compounds, carrot-milk drink, free radicals, malondialdehyde

ABSTRACT

Background: Reactive oxygen species cause oxidation of lipids containing C-C double bonds. Malondialdehyde (MDA), the most common aldehyde with highest biological activity, is abundantly produced during lipid peroxidation and is commonly used as an indicator of oxidative stress.
Objective: Carrots contain a variety of natural and nutritional bioactive compounds with antioxidant properties that are of interest for suppressing oxidative stress and MDA.
Methods: Milk-based beverages were prepared by replacing 0 (only cow milk) 10, 20, 30, 40 and 50% of carrot juice, filled in sealed glass containers, pasteurized (70°C for 30 min) and stored at 4°C until testing. MDA, acid number, phenolic compounds, total carotenoids, ascorbic acid and antioxidant capacity tests were performed on the samples.
Results: Acid number, as indicator of lipase enzyme activity, was observed to be lower in drinks with 30, 40 and 50% carrot juice than in drinks with 10 and 20% carrot juice, and these changes in acid number were calculated as 0.5-1.2 mg NaOH g^{-1} in terms of extracted fat. Results of experiments showed that MDA content of the drinks changed from 3.5 to 13 µmol L^{-1} during storage. As a result, the most important pathways for inhibiting and suppressing lipid peroxidation and MDA formation could be the inhibition of free radicals such as hydroxyl (OH·) and peroxyl (LOO·) radicals with the help of bioactive compounds in carrot juice.
Conclusion: Carrots are a rich source of carotenoids, polyphenols, ascorbic acid with their antioxidant properties for neutralizing free radicals in carrot-milk drinks inhibited the formation of MDA, resulting from the secondary oxidation of unsaturated fatty acids during storage.

Extended Abstract

Introduction: Lipid peroxidation often occurs in response to oxidative stress and reactive oxygen species cause oxidation of lipids containing (C=C) carbon double bonds (Sies and Jones, 2020). Malondialdehyde (MDA), the most common aldehyde with the highest biological activity, is abundantly produced during lipid peroxidation and is commonly used as an indicator of oxidative stress (Barrera *et al*., 2018). MDA originates from the breakdown of peroxide compounds resulting from the oxidation of polyunsaturated fatty acids (Ayala *et al*., 2014). Carrots contain natural, nutritious and health-promoting bioactive compounds. The antioxidant properties of β-carotene and other compounds such as phenolic compounds, flavonoids and ascorbic acid in carrots are of great interest (Anjani *et al*., 2022). The aim of this study was to investigate the effect of different percentages of carrot juice in the preparation of carrot-milk drink. Therefore, during the thirteen-day storage period, quality indicators such as acid number, MDA, antioxidant capacity and bioactive compounds were studied in the drinks to determine the appropriate percentage of carrot juice to inhibit oxidative stress in cow's milk based functional drink.

Materials and Methods: Carrots and pasteurized cow's milk were obtained from local market. The carrots were washed with clean water, extracted and passed through a filter cloth to separate the carrot pieces. Milk-based drinks were prepared by replacing 0 (only cow milk) 10, 20, 30, 40 and 50% of carrot juice. The samples were filled into sealed glass containers and pasteurized at 70°C for 30 min and stored at 4°C until the experiments. Malondialdehyde and acid number tests were performed on the milk-carrot drink with methanol and isoamyl alcohol (lipolysis index), as well as bioactive compounds such as total phenolic compounds, total carotenoids, ascorbic acid and antioxidant capacity in the drink samples. Malondialdehyde measurement: The thiobarbituric acid method was used to measure malondialdehyde in beverage samples and its amount was reported as µmol MDA L^{-1} (Fenaille *et al*., 2001). Acid number measurement (lipolysis index): To determine the total free fatty acids, the method of titration of extracted fat by an alkaline alcoholic solution was used and its amount was expressed in mg NaOH g^{-1} fat (Evers 2003). Determination of bioactive compounds: 1) Total phenol measurement: Methanol-water solvent (50:50) was used to extract the phenolic compounds of the beverage and the Folin-Ciocalteau method was used by measuring the absorbance of the samples at 765 nm to determine the amount of phenolic compounds. Finally, the amount of phenolic compounds was reported as mg GAE 100 g-1 (Lamuela-Raventós, 2018), 20 Measurement of total carotenoids: Hexane-ethanol solvent (90:10) was used to extract the carotenoid compounds of the beverage and centrifugation (5000 rpm) was used for purification. The amount of total carotenoids (µg g^{-1}) was determined by measuring the absorbance of the sample at 450 nm (Machmudah and Goto, 2013), 3) Measurement of ascorbic acid: Ascorbic acid was extracted using a metaphosphoric acid-acetic acid solvent and its amount was determined by measuring the absorbance at 521 nm and the amount of ascorbic acid was reported as mg 100 g^{-1} (Ruiz *et al*., 2016) and 4) Measurement of total antioxidant capacity by DPPH test: The antioxidant capacity of the sample was determined by the free radical scavenging ability of the DPPH solution. For this purpose, the absorbance at 517 nm was determined and reported as percentage inhibition (Chen *et al*., 2015). For statistical analysis, factorial experiments were carried out in a completely randomized design with 3 replications. The effect of carrot juice percentage and storage time on bioactive compounds and oxidative and lipolytic stability of carrot-milk drink was investigated. SAS software (version 9.1, USA) was used for analysis and the least mean squares method ($P < 0.05$) was used for comparison of means.

Results and discussion: Samples with 50% carrot juice on the first day and 10% carrot juice on the thirteenth day had the highest (157.37 µg g^{-1}) and lowest (24.44 µg g^{-1}) carotenoid contents, respectively. The decrease in total carotenoid content during storage can be attributed to the antioxidant and free radical scavenging properties of carrot-milk drink, as carotenoids exhibit antioxidant properties and are capable of scavenging reactive oxygen species at low oxygen concentrations (Ribeiro *et al*., 2018). Carotenoids have the ability to bind to lipid globules and provide phase and color stability during storage in carrot-milk drink (Sharma *et al*., 2012). Studies have shown that carrot juice contains significant amounts of vitamins such as thiamine, folic acid, niacin, riboflavin, vitamins A and C (Aubert *et al*., 2022). During storage, vitamin C decreased in all samples due to degradation and oxidation (Castellom-Estrada *et al*., 2023). The content of ascorbic acid decreased during storage. The lowest

content (2.15 mg $100g^{-1}$) on the thirteenth day with 10% carrot juice and the highest content (6.17 mg $100g^{-1}$) was observed with 50% carrot juice on the first day. In all samples, the lowest content of total phenols (122.18 mg $100g^{-1}$) was on the thirteenth day with 10% carrot juice and the highest content (311.32 mg $100g^{-1}$) on the fourth day with 50% carrot juice. The major source of phenolic compounds in carrot-milk drink is carrot juice. The increase in phenolic compounds up to the seventh day can be attributed to the release of phenolic compounds from carrot particles into the drink, but the subsequent decrease is due to oxidation inhibition, antimicrobial properties and preservative role during storage (Talcott and Howard, 1999). The lowest antioxidant capacity was found in the sample containing 10% carrot juice on the first day (35.98%) and the highest value was found in the sample containing 50% carrot juice on the thirteenth day (60.62%). Researches has shown that there is a good correlation between DPPH free radical scavenging values, phenolic compounds and vitamin C content on the one hand, and antioxidant capacity and beta-carotene on the other (Castellom-Estrada *et al*., 2023 and Hashemi et al. 2014). Acid number, as an indicator of lipase enzyme activity, was lower in drinks with 30, 40 and 50% carrot juice than in drinks with 10 and 20% carrot juice, and these changes in acid number were calculated as 0.5-1.2 mg NaOH g^{-1} in terms of extracted fat. Also, the researchers found that the presence of Pseudomonas spp. in milk leads to the production of microbial lipases at the end of storage. According to the results of the experiments, the decrease in the acid value can be attributed to the inhibitory effect of bioactive compounds from the carrot juice source, especially at higher percentages in the carrot-milk drink. The results of the experiments showed that the MDA content of the drinks changed from 3.5 to 13 µmol L^{-1} during storage. As a result, the most important pathways for inhibiting and suppressing lipid peroxidation and MDA formation could be the inhibition of free radicals such as hydroxyl ($OH^{\cdot}$) and peroxyl ($LOO^{\cdot}$) radicals with the help of bioactive compounds in carrot juice. Aldehydes are the major secondary oxidation products in milk, which generally have a lower taste threshold compared to alcohols and ketones. As a result, when their concentration reaches above the taste threshold, they have a significant effect on the taste of milk. Also, MDA can damage biomolecules such as proteins, phospholipids and other molecules through the formation of covalent and cross-links (Aubourg, 1993). Researchers reported that the addition of purple corn anthocyanin to milk resulted in higher resistance to lipid oxidation and MDA formation, and showed lower oxidation of secondary metabolites compared to the control sample (Tian *et al*., 2022). In lipid oxidation, autoxidation is the most important chain reaction through free radicals. Investigation of Table 1 shows that milk-carrot drinks contain significant amounts of bioactive compounds (polyphenolic compounds, flavonoids, carotenoids, vitamin C) and antioxidant capacity that have the ability to inhibit the peroxidation of unsaturated fatty acids and the formation of MDA (Figures 1 and 2). Lipid peroxidation, in addition to the loss of nutritional value, also leads to the formation of radicals with toxic properties (Figure 3), therefore, the control of oxidative processes in the food industry have a vital importance. Although the oxidation of unsaturated fatty acids has been widely studied, the complex reactions involved in this process, as well as the different pathways and factors affecting them, have caused the oxidation mechanisms to be not yet fully understood (Dominguez *et al*., 2019). Unsaturated fatty acids are very sensitive to oxidant attack and today, malondialdehyde, 4-hydroxy-2-nonenal, and 2-isoprostane are the main biomarkers for assessing lipid peroxidation, all of which are derived from polyunsaturated fatty acids (Mas-Bargues 2021).

Conclusion: Carrots, as a rich source of carotenoid compounds such as α and β-carotene, different types of phenolic compounds and ascorbic acid, have antioxidant and free radical neutralization properties in carrot-milk drink. The main source of phenolic compounds in carrot-milk drink is carrot juice. During whole storage, changes in antioxidant compounds of carrot-milk drink may be due to inhibition of the formation of harmful compounds such as MDA resulting from the secondary oxidation of unsaturated fatty acids. The most important pathways for inhibiting and suppressing lipid peroxidation and MDA formation can be the inhibition of free radicals such as hydroxyl and peroxyl radicals with the help of bioactive compounds in carrot juice. These compounds can also act as lipolysis inhibitors during storage. Finally, it can be concluded that adding carrot juice with different concentrations to carrot-milk drink, in addition to increasing nutritional value, also plays an important role in the oxidative and lipolytic stability of functional drink.

پژوهش‌های صنایع غذایی
شاپا الکترونیکی: ۵۶۹۱-۲۶۷۶ ، شاپا چاپی ۵۱۵x- ۲۰۰۸
https://foodresearch.tabrizu.ac.ir

تاثیر ترکیبات زیست‌فعال بر پایداری اکسیداتیو و لیپولیتیکی نوشیدنی فراسودمند بر پایه شیر گاو

بیوک‌آقا فرمانی[۱]✉، صمد بدبدک[۱] و فرشته سلمانی[۲]

۱دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی اهر، دانشگاه تبریز، ایران
۲دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، ایران
✉ مسئول مکاتبه: bfarmani@tabrizu.ac.ir

مشخصات مقاله

نوع مقاله:
علمی پژوهشی

تاریخچه مقاله:
دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۱۸
بازنگری: ۱۴۰۴/۰۸/۱۶
پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۱۶

کلید واژه:
ترکیبات زیست‌فعال، مالون-دی‌آلدئید، رادیکال‌های آزاد، نوشیدنی شیر-هویج

چکیده

زمینه مطالعاتی: گونه‌های فعال اکسیژن باعث اکسیداسیون لیپیدهای حاوی پیوندهای دوگانه کربن-کربن می‌شود. مالون‌دی‌آلدئید (MDA) متداول‌ترین آلدئید با بالاترین فعالیت بیولوژیکی، به طور فراوان طی پراکسیداسیون لیپیدی تولید می‌گردد و معمولاً به‌عنوان شاخص تنش اکسیداتیو استفاده می‌شود.

هدف: هویج دارای انواع ترکیبات زیست‌فعال طبیعی و مغذی با خواص آنتی‌اکسیدانی است که برای سرکوب تنش اکسیداتیوی و MDA مورد توجه می‌باشد.

روش کار: نوشیدنی‌های بر پایه شیر با جایگزینی ۰ (فقط شیر گاو)، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰٪ آب‌هویج تهیه و در ظروف شیشه‌ای دربسته پر و در دمای ۷۰ °C برای ۳۰ min پاستوریزه و تا انجام آزمایشات در دمای ۴ °C نگهداری شدند. آزمون‌های MDA، عدد اسیدی، ترکیبات فنولی، کاروتنوئید کل، آسکوربیک اسید و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در نمونه‌ها انجام شد.

نتایج: عدد اسیدی به‌عنوان شاخص تعیین فعالیت آنزیم لیپاز، در نوشیدنی‌های با ۳۰، ۴۰ و ۵۰٪ آب هویج کمتر از نوشیدنی‌های با ۱۰ و ۲۰٪ آب هویج مشاهده شد که این تغییرات عدد اسیدی ۰/۵-۱/۲ mg NaOH g^{-1} بر حسب چربی استخراجی محاسبه شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد محتوای MDA نوشیدنی‌ها از ۳/۵ به ۱۳ µmol L^{-1} طی نگهداری تغییر کرده است. در نتیجه مهمترین مسیرهای مهار و سرکوب پراکسیداسیون لیپیدها و تشکیل MDA، می‌تواند مهار رادیکال-های آزاد مانند رادیکال هیدروکسیل (OH·) و پراکسیل (LOO·) با کمک ترکیبات زیست‌فعال آب هویج باشند.

نتیجه‌گیری کلی: هویج با منبع غنی ترکیبات کاروتنوئیدی، پلی‌فنول‌ها و آسکوربیک اسید و خواص آنتی‌اکسیداسیونی برای خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد در نوشیدنی شیر-هویج طی ذخیره-سازی باعث مهار تشکیل ترکیبات مضر مانند MDA حاصل از اکسیداسیون ثانویه اسیدهای چرب غیراشباع شد.

مقدمه

پراکسیداسیون لیپیدی اغلب در پاسخ به تنش اکسیداتیو اتفاق می‌افتد، جایی که گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) باعث اکسیداسیون لیپیدهای حاوی پیوندهای دوگانه کربن=کربن می‌باشد (Sies and Jones, 2020). پراکسیداسیون لیپیدها در سه مرحله اصلی و شامل شروع، انتشار زنجیره‌ای و خاتمه است. این واکنش‌ها منجر به تولید آلدئیدهای غیراشباع (۴-هیدروکسی-۲-نوننال و آکرولئین)، دی‌آلدئیدها (مالوندی‌آلدئید و گلیوکسال) و کتوآلدئیدها (۴-اکسو-۲-نوننال و ایزوکتال) می‌شود (Pamplona *et al*., 2019). برخی از این ترکیبات بسیار واکنش‌پذیر بوده و به‌عنوان پیام‌رسان‌های سمی ثانویه در نظر گرفته می‌شوند که آسیب اکسیداتیوی بزرگی را ایجاد می‌کنند (Esterbauer *et al*., 1991). متداول‌ترین آلدئیدهایی که تاکنون مشخص شده‌اند ۴-هیدروکسی نوننال (۴-HNE) و مالوندی‌آلدئید (MDA) می‌باشند که اولی دارای بالاترین فعالیت بیولوژیکی و دومی به طور فراوان طی پراکسیداسیون لیپیدی تولید می‌گردد و معمولاً به‌عنوان معیار تنش اکسیداتیوی استفاده می‌شود (Barrera *et al*., 2018). ترکیبات MDA و ۴-HNE از اسیدهای چرب چند غیراشباع منشأ می‌گیرند، زمانی که یک پیوند دوگانه کربن=کربن توسط یک رادیکال آزاد مورد حمله قرار گیرد که منجر به تشکیل رادیکال لیپید غیراشباع با انتشار H_2O می‌شود. در ادامه، در نتیجه حضور O_2 منجر به تشکیل رادیکال‌های پروکسیل و هیدروپروکسیدهای لیپیدی می‌گردد (Ayala *et al*., 2014).

هویج (*Daucus carota* L.) از جمله سبزی‌های با ترکیبات زیست‌فعال طبیعی، اثرات مغذی و مفید برای سلامتی است. خواص آنتی‌اکسیدانی β-کاروتن هویج و سایر ترکیبات مانند فنولیک اسید، فلاونوئید، پلی‌استیلن و آسکوربیک اسید بسیار مورد توجه می‌باشد (Anjani *et al*., 2022). بنابراین، هویج به دلیل مقادیر قابل‌توجه ترکیبات فیتوشیمیایی، یک غذای فراسودمند محسوب می‌شود. اسیدهای هیدروکسی‌سینامیک و مشتقات آنها و اسید کلروژنیک از ترکیبات فنولیک اصلی هویج، اثرات سلامت‌بخش خوبی را نشان داده‌اند. در مطالعات حیوانات و انسان‌ها به دلیل خواص آنتی‌اکسیدانی، ضدالتهابی، هیپولیپیدمی، هیپوگلیسمی و ضدفشار خون به عنوان یک عامل پیشگیرانه و/یا درمانی در برابر سندرم متابولیک عمل می‌کند (Gastélum-Estrada *et al*., 2023). با افزایش روزافزون جمعیت جهان و نیازهای غذایی، بهبود کمبودهای مواد مغذی مانند ریزمغذی‌ها (ویتامین‌های A و C)، ویژگی‌های تغذیه‌ای، خواص آنتی‌اکسیدانی و فیزیکوشیمیایی از اولویت‌های مهم در تولید انواع نوشیدنی‌ها است (Hafeez et al., 2025).

هدف از این تحقیق بررسی تاثیر درصدهای مختلف آب هویج در تهیه نوشیدنی شیر-هویج بود. بنابراین، در نوشیدنی‌ها طی دوره ذخیره‌سازی سیزده روزه، شاخص‌های کیفی مانند عدد اسیدی، MDA، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و ترکیبات زیست‌فعال مورد نظر بررسی شدند تا درصد آب هویج مناسب برای مهار تنش اکسیداتیوی در نوشیدنی فراسودمند برپایه شیر مشخص گردد.

مواد و روش‌ها

تهیه نوشیدنی‌هایی بر پایه شیر گاو: هویج فرنگی سالم و شیر گاو پاستوریزه از بازار محلی تهیه شدند. هویج‌ها با ماده ضدعفونی کننده (با نام تجاری Kanz برای ۲۰ min) ضدعفونی، سپس کاملا با آب تمیز شسته، با آبمیوه‌گیر، آب-هویج استخراج و برای جداسازی تکه‌های هویج از پارچه صافی معمولی عبور داده شدند. نوشیدنی‌های بر پایه شیر با جایگزینی ۰ (فقط شیر گاو)، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰٪ آب‌هویج تهیه شدند. نمونه‌ها در ظروف شیشه‌ای درب‌دار قهوه‌ای پر و در دمای ۷۰ °C برای ۳۰ min پاستوریزه شدند (Farmani et al., 2024). تا زمان انجام آزمایشات، نمونه‌ها در دمای ۴ °C (داخل یخچال) نگهداری شدند و در روزهای اول، چهارم، هفتم، دهم و سیزدهم پارامترهای مورد نظر اندازه‌گیری گردید.

استخراج چربی و مالوندی‌آلدئید از نوشیدنی شیر-هویج: از روش ساوج و همکاران (۱۹۹۸) با تغییرات جزیی برای استخراج چربی و مالوندی‌آلدئید نوشیدنی شیر-هویج استفاده شد. برای این منظور به نمونه (۱۰ mL)، مقدار ۱۰ mL متانول و ۵ mL ایزوآمیل الکل اضافه کرده و ۲ min ورتکس شد. در

ادامه ۵ mL ایزوآمیل الکل و ۰/۱ g کلرید سدیم افزوده و مجددا ۳۰ s ورتکس شد. با سرعت ۴۰۰۰ rpm سانتریفوژ و لایه پایینی حاوی چربی جمع‌آوری شد و برای حذف حلال از گاز نیتروژن استفاده گردید (Savage et al., 1998).

۱- اندازه‌گیری مالون‌دی‌آلدئید: برای اندازه‌گیری مالون‌دی-آلدئید نمونه‌های نوشیدنی از روش تیوباربیتوریک اسید استفاده و مقدار آن به‌صورت $\mu mol\ MDA\ L^{-1}$ گزارش شد (Fenaille et al., 2001).

۲- اندازه‌گیری عدد اسیدی (شاخص لیپولیز): برای تعیین کل اسیدهایی چرب آزاد از روش تیتراسیون چربی استخراجی توسط محلول قلیایی الکلی استفاده و مقدار آن با واحد $mg\ NaOH\ g^{-1}\ fat$ بیان شد (Evers, 2003).

تعیین ترکیبات زیست‌فعال

۱- اندازه‌گیری فنول کل: از حلال متانول-آب (۵۰:۵۰) برای استخراج ترکیبات فنولی نوشیدنی و روش فولین-سیوکالتو با اندازه‌گیری جذب نمونه‌ها در ۷۶۵ nm برای تعیین مقدار ترکیبات فنولی استفاده شد. در نهایت مقدار ترکیبات فنولی معادل اسید گالیک (اسید استاندارد) به صورت $mg\ GAE\ 100\ g^{-1}$ گزارش شد (Lamuela-Raventós, 2018).

۲- اندازه‌گیری کاروتنوئید کل: از حلال هگزان-اتانول (۹۰:۱۰) برای استخراج ترکیبات کاروتنوئیدی نوشیدنی و سانتریفیوژ (۵۰۰۰ rpm) جهت خالص‌سازی استفاده شد. از طریق اندازه‌گیری مقدار جذب نمونه در ۴۵۰ nm برای تعیین مقدار کاروتنوئید کل($\mu g\ g^{-1}$) استفاده شد (Machmudah and Goto, 2013).

۳- اندازه‌گیری آسکوربیک اسید: استخراج آسکوربیک اسید با استفاده از حلال متافسفریک اسید-استیک اسید انجام و مقدار آن از طریق اندازه‌گیری جذب در ۵۲۱ nm مشخص شد و مقدار آسکوربیک اسید به صورت $mg\ 100\ g^{-1}$ گزارش شد (Ruiz et al., 2016).

۴- اندازه‌گیری ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل با آزمون DPPH: ظرفیت آنتی‌اکسیدانی نوشیدنی از طریق قابلیت روبش رادیکال آزاد محلول DPPH تعیین شد. برای اینکار مقدار جذب در ۵۱۷ nm تعیین و به‌صورت درصد مهار گزارش گردید (Chen et al., 2015).

آنالیز آماری: این پژوهش با استفاده از روش آزمایش‌های فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی در ۳ تکرار انجام شد. تاثیر درصد آب هویج و زمان نگهداری بر ترکیبات زیست‌فعال و پایداری اکسیداتیو و لیپولیتیک نوشیدنی شیر-هویج مورد بررسی قرار گرفت. برای آنالیز از نرم افزار SAS (نسخه ۹/۱، USA) و مقایسه میانگین‌ها از روش حداقل میانگین مربعات ($P < ۰/۰۵$) استفاده گردید.

نتایج و بحث

ترکیبات زیست‌فعال آب هویج

کاروتنوئید کل: نتایج نشان داد که افزودن آب هویج در نوشیدنی باعث افزایش معنی‌دار کاروتنوئید کل همه نمونه‌ها شده است ($P < ۰/۰۵$) (جدول ۱). همچنین مشخص شد مقدار کاروتنوئید کل طی نگهداری در دمای یخچال کاهش یافت. نمونه‌های حاوی ۵۰ ٪ آب هویج در روز اول و ۱۰٪ آب هویج در روز سیزده به ترتیب بالاترین ($۱۵۷/۳۷\ \mu g\ g^{-1}$) و کمترین ($۲۴/۴۴\ \mu g\ g^{-1}$) کاروتنوئید کل را داشتند. کاهش مقدار کاروتنوئید کل طی زمان نگهداری را می‌توان به خاصیت آنتی-اکسیداسیونی و خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد در نوشیدنی شیر-هویج ارتباط داد که در غلظت پایین اکسیژن، کاروتنوئیدها خواص آنتی‌اکسیدانی از خود نشان می‌دهند و قابلیت خنثی-سازی گونه‌های فعال اکسیژن را دارند (Ribeiro *et al.*, 2018). کاروتنوئیدها قابلیت باند شدن با گلبول‌های چربی را دارند و در نوشیدنی شیر-هویج باعث پایداری فاز و رنگ طی زمان نگهداری می‌شوند (Sharma *et al.*, 2012).

آسکوربیک اسید: مطابق جدول ۱، محتوی آسکوربیک اسید با افزایش مقدار آب هویج در نمونه‌ها به طور معنی‌دار افزایش یافت ($P < ۰/۰۵$). همچنین نتایج نشان داد مقدار آسکوربیک اسید (ویتامین C) طی نگهداری روند کاهشی داشت. به طوری که کمترین مقدار آن ($۲/۱۵\ mg\ 100g^{-1}$) در روز سیزدهم با ۱۰ ٪ آب هویج و بیشترین مقدار ($۶/۱۷\ mg\ 100g^{-1}$) با ۵۰ ٪ آب هویج در روز اول مشاهده شد. مطالعات مشخص کرد

آب هویج حاوی مقادیر قابل‌توجه ویتامین‌های مانند تیامین، فولیک اسید، نیاسین، ربیوفلاوین، ویتامین A و C است (Aubert *et al*., 2022). طی نگهداری ویتامین C به خاطر تخریب و اکسیداسیون در همه نمونه‌ها کاهش یافت (Gastélum-Estrada et al., 2023).

ترکیبات فنولی: جدول ۱ نشان می‌دهد که در همه نمونه‌ها فنول کل تا روز هفتم به طور معنی‌دار افزایش و بعد از آن روند کاهشی داشت ($P < ۰/۰۵$). به طوری‌که کمترین مقدار آن (۱۲۲/۱۸ mg $100g^{-1}$) در روز سیزدهم در نمونه حاوی ۱۰ ٪ آب هویج و بیشترین مقدار (۳۱۱/۳۲ mg $100g^{-1}$) در نمونه حاوی ۵۰ ٪ آب هویج در روز چهارم بود. مطالعات نشان داد ترکیبات فنولی هویج از نوع هیدروکسی‌سینامیک و مشتقات آن بوده و کلروژنیک اسید ترکیب فنولی عمده می‌باشد (Aubert *et al*., 2022). منبع عمده ترکیبات فنولی در نوشیدنی شیر–هویج مربوط به آب هویج است. افزایش فنول تا روز هفتم را می‌توان به رهایش ترکیبات فنولی از ذرات ریز هویج در نوشیدنی نسبت داد، اما کاهش بعدی آن به خاطر قابلیت مهار اکسیداسیون، خواص ضدمیکروبی و نقش نگهدارندگی طی انبارمانی دانست (Talcott and Howard, 1999).

خواص آنتی‌اکسیدانی: مواد غذایی بر پایه گیاهی منابع غنی ترکیبات متفاوت فنولی هستند. نوشیدنی محتوی ۵۰ ٪ آب هویج بالاترین قابلیت‌مهار رادیکال‌های آزاد (DPPH) را دارند (جدول ۱). نتایج نشان داد فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌ها به خاطر رهایش ترکیبات با خواص آنتی‌اکسیدانی از ذرات هویج موجود در نوشیدنی تا روز هفتم افزایش و پس از آن روند کاهشی داشت. به‌طوری که کمترین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (با ۳۵/۹۸ ٪ قابلیت مهار رادیکال‌های آزاد) در روز اول در نمونه حاوی ۱۰ ٪ آب هویج و بیشترین مقدار آن (با ۶۰/۶۲ ٪ قابلیت مهار رادیکال‌های آزاد) در نمونه حاوی ۵۰ ٪ آب هویج در روز چهارم بود. فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌ها وابسته به ماهیت شیمیایی پلی‌فنول‌ها (ترکیبات فنولی، فلاونئویدها و غیره) است. طی ذخیره‌سازی، تغییرات ترکیبات آنتی‌اکسیدانی نوشیدنی شیر–هویج ممکن است در نتیجه مهار تشکیل ترکیبات مضر مانند مالون‌دی‌آلدئید (شکل ۲) حاصل از اکسیداسیون ثانویه اسیدهای چرب غیراشباع باشد که برای کنترل چنین ترکیبات حاصل از تنش اکسیداسیونی ضروری می‌باشد. تحقیقات نشان داد که همبستگی خوبی بین مقادیر روبش رادیکال‌های آزاد DPPH، محتوای ترکیبات فنولی و ویتامین C از یک طرف و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و بتا–کاروتن از طرف دیگر وجود دارد (Gastélum-Estrada *et al*., 2023; Hashemi1 *et al*., 2014).

Table 1: Changes in ascorbic acid, total carotenoids, total phenolic contents and DPPH of milk-carrot drinks during storage at 4°C.

Parameters	Samples	Storage (Day) 1	4	7	10	13
Ascorbic acid (mg 100 g^{-1})	T_1	3.24 ± 0.04^{Da}	2.69 ± 0.04^{Cb}	$2.31\pm.045^{Cc}$	2.19 ± 0.055^{Cc}	$2.15\pm0.035^{D}_{c}$
	T_2	4.29 ± 0.08^{Ca}	3.69 ± 0.05^{Bb}	$3.33\pm.04^{BCc}$	3.13 ± 0.04^{Bd}	2.59 ± 0.06^{CCe}
	T_3	5.89 ± 0.16^{Ba}	5.51 ± 0.05^{Ab}	4.84 ± 0.04^{Ac}	4.49 ± 0.06^{Ad}	3.23 ± 0.06^{Bd}
T_0 at 0 day 7 mg 100 g^{-1}	T_4	6.17 ± 0.05^{Ba}	5.48 ± 0.06^{Ab}	4.93 ± 0.06^{Ac}	4.22 ± 0.05^{Ad}	3.81 ± 0.07^{Ae}
	T_5	6.63 ± 0.11^{Aa}	$5.81\pm.05^{Ab}$	5.12 ± 0.03^{Ac}	4.42 ± 0.06^{Ad}	3.94 ± 0.07^{Ae}
Total phenolic content (mg 100 g^{-1})	T_1	142.65 ± 0.89^{Dd}	155.66 ± 7.53^{Da}	$183.70\pm0.96_{Da}$	$175.00\pm6.81_{Ea}$	$122.18\pm1.16_{Eb}$
	T_2	160.11 ± 0.59^{CDd}	183.33 ± 8.37^{Cb}	$232.20\pm1.10_{Ca}$	$227.12\pm1.05_{Da}$	$152.25\pm0.81_{Dc}$
	T_3	194.71 ± 0.83^{BCc}	244.69 ± 7.74^{Ba}	$257.70\pm0.91_{Ca}$	$198.67\pm3.75_{CEb}$	$194.13\pm4.73_{Cb}$
T_0 at 0 day 18 $mg_1 100\ g^{-}$	T_4	217.58 ± 0.98^{ABd}	276.00 ± 7.81^{Ba}	$262.23\pm0.85_{Bab}$	$250.74\pm1.32_{BDb}$	$211.11\pm1.22_{Bc}$
	T_5	245.27 ± 3.58^{Ad}	311.32 ± 1.03^{Aa}	$295.03\pm8.36_{Aab}$	$278.09\pm5.75_{Ab}$	$236.31\pm2.48_{Ac}$
Total carotenoid content (µg g^{-1})	T_1	$45.97\pm0.46^{E}_{a}$	30.57 ± 0.34^{Eb}	28.45 ± 0.31^{Ec}	25.28 ± 0.36^{Ed}	24.44 ± 0.35^{Ed}
	T_2	$64.72\pm0.28_{Da}$	59.71 ± 0.25^{Db}	$55.85\pm0.26^{D}_{c}$	$51.19\pm0.24^{C}_{d}$	$48.11\pm0.19^{D}_{e}$

T_0 at 0 day 6 µg g^{-1}	T_3	$92.11\pm0.52^{C}_{a}$	89.40 ± 0.39^{Cb}	85.45 ± 0.36^{Cc}	$83.14\pm0.28^{D}_{d}$	78.49 ± 0.34^{Ce}
	T_4	159.52 ± 0.26^{Ba}	147.61 ± 0.32^{Bb}	$139.71\pm0.47_{Bc}$	$134.33\pm0.29_{Bd}$	$131.77\pm0.27_{Be}$
	T_5	175.37 ± 0.36^{Aa}	171.38 ± 0.35^{Ab}	$167.30\pm0.24_{Ac}$	$163.42\pm0.51_{Ad}$	$159.76\pm0.20_{Ae}$
DPPH scavenging (%) T_0 at 0 day 7 %	T_1	$35.98\pm0.08_{Dc}$	37.75 ± 0.21^{Eb}	$41.82\pm0.09^{D}_{a}$	40.89 ± 0.24^{Ca}	$39.66\pm0.24^{B}_{Ca}$
	T_2	$41.04\pm0.06^{C}_{c}$	44.19 ± 0.22^{Db}	47.23 ± 0.25^{Ca}	46.22 ± 0.24^{Ba}	41.15 ± 0.17^{Bc}
	T_3	$44.29\pm0.03^{C}_{c}$	51.96 ± 0.12^{Ca}	$48.98\pm0.04^{C}_{b}$	42.91 ± 0.06^{Cc}	$38.74\pm0.07^{C}_{d}$
	T_4	$49.12\pm0.14^{B}_{b}$	56.41 ± 0.43^{Ba}	55.39 ± 0.41^{Ba}	$54.35\pm0.37^{A}_{a}$	$47.30\pm0.32^{A}_{b}$
	T_5	$56.46\pm0.34_{Ab}$	60.62 ± 0.24^{Aa}	$59.70\pm0.08^{A}_{a}$	$57.52\pm0.45^{A}_{ab}$	$51.47\pm0.14^{A}_{c}$

(T_0, T_1, T_2, T_3, T_4 and T_5 contain 0, 10, 20, 30, 40 and 50% carrot juice, respectively.)
Different small letters in the same row represents significant differences between days in specific treatment ($P < 0.05$).
Different capital letters in the same column represents significant differences between treatments in specific day ($P < 0.05$).

عدد اسیدی در نوشیدنی شیر–هویج

در مطالعات مربوط به شیر و فراورده‌های آن، عدد اسیدی شاخص خوبی برای ارزیابی لیپولیز (شاخص لیپولیز) جهت تعیین فعالیت آنزیم لیپاز است. نتایج آزمایش نشان داد اسیدهای چرب آزاد همه نمونه‌ها تقریبا در روز اول پائین بودند (شکل ۱). لیپولیز در نوشیدنی‌های شیر–هویج ممکن است به‌وسیله لیپازهای طبیعی با منشاء شیر یا لیپازهای میکروبی حاصل از باکتری‌های سایکروفیل باشد (Zadernowski, 2003). اسیدهای چرب آزاد همه نمونه‌ها طی نگهداری در یخچال افزایش یافت، به طوری‌که این افزایش بعد از روز هفتم قابل–توجه بود ($P < ۰/۰۵$). همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می–شود عمل لیپولیز از روز اول تا روز هفتم در نوشیدنی‌های با ۳۰، ۴۰ و ۵۰ ٪ آب هویج کمتر از نوشیدنی‌های با ۱۰ و ۲۰٪ آب هویج مشاهده شد (۰/۵–۱/۲ mg NaOH g^{-1})، در ادامه، از روز هفتم تا روز سیزدهم، مقدار عدد اسیدی نمونه‌ها با افزایش درصد آب هویج کاهش یافته است که بیشترین کاهش مربوط به نوشیدنی با ۵۰ ٪ آب هویج است. محققان گزارش کردند که آسکوربیک اسید، ترکیبات فنولی و کاروتنوئیدهای آب هویج نقش کلیدی در مهار فعالیت لیپاز دارند. همچنین، pH بهینه فعالیت لیپاز شیر ۷/۹ است که با کاهش آن، فعالیت آنزیم به طور معنی‌دار کاهش می‌یابد (Yusuf *et al.*, 2021). مدت زمان نگهداری به‌طور معنی‌داری باعث افزایش لیپولیز می‌شود (Jooyandeh and Hojjati, 2023). همچنین، پژوهشگران دریافتند حضور *Pseudomonas* spp. در شیر منجر به تولید لیپازهای میکروبی در انتهای انبارداری می‌شود. با توجه به نتایج آزمایش‌ها کاهش مقدار عدد اسیدی می‌تواند به اثر مهارکنندگی ترکیبات زیست‌فعال از منبع آب هویج مخصوصا با درصدهای بالاتر در نوشیدنی شیر–هویج نسبت داده شود.

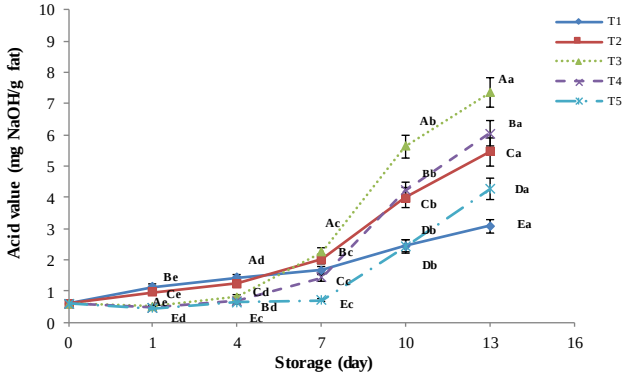

Figure 1: Changes in acid value of milk-carrot drinks during storage at 4°C.

(T_0, T_1, T_2, T_3, T_4 and T_5 contain 0, 10, 20, 30, 40 and 50% carrot juice, respectively.)
Different small letters in the same row represents significant differences between days in specific treatment ($P < 0.05$).
Different capital letters in the same column represents significant differences between treatments in specific day ($P < 0.05$).
Numbers with the same small letters in same columns are not significantly different ($p < 0.05$).

تشکیل MDA در نوشیدنی شیر-هویج

مالون‌دی‌آلدئید (MDA) به‌عنوان پارامتر مهم برای ارزیابی پراکسیداسیون لیپید (تنش اکسیداتیوی) در مطالعات مورد بررسی قرار می‌گیرد. رادیکال‌های آزاد باعث پراکسیداسیون لیپیدهای غیراشباع و در ادامه به تشکیل MDA منجر می‌شوند. سطح MDA معمولا شاخصی برای تنش اکسیداسیون و وضعیت آنتی‌اکسیداسیون در نوشیدنی شیر-هویج می‌باشد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد محتوای MDA نوشیدنی‌ها با افزایش درصد آب هویج از ۱۰٪ به ۵۰٪ در نوشیدنی‌ها کاهش یافت (شکل ۲). طی انبارمانی، محتوای MDA نمونه‌ها به طور معنی‌دار افزایش نشان داد ($P < ۰/۰۵$) و محتوای MDA نوشیدنی‌ها از ۳/۵ به ۱۳ $\mu mol\ L^{-1}$ طی نگهداری تغییر کرد. کمترین مقدار MDA در نوشیدنی‌های شیر-هویج حاوی درصدهای بالای آب هویج (۴۰ و ۵۰٪) مشاهده شد. الیاس و همکاران (۲۰۰۸) بیان کردند پروتئین و پپتیدهای شیر می‌توانند با آلدئیدهای حاصل از اکسیداسیون لیپید واکنش دهند (Elias et al., 2008). آلدئیدها محصولات عمده اکسیداسیون ثانویه در شیر هستند که عموماً در مقایسه با الکل‌ها و کتون‌ها آستانه طعم پائین‌تری دارند. در نتیجه، زمانی که غلظت آنها بالای آستانه طعم رسید، تاثیر معنی‌دار بر طعم شیر دارند. همچنین، MDA می‌تواند بر زیست‌ملکول‌های مانند پروتئین‌ها، فسفولیپیدها و سایر ملکول‌ها از طریق تشکیل پیوندهای کوالانسی و عرضی (متقابل) آسیب برساند (Aubourg, 1993). پژوهشگران گزارش دادند افزودن آنتوسیانین ذرت ارغوانی به شیر منجر به مقاومت بالاتر در مقابل اکسیداسیون لیپید و تشکیل MDA داشته و در مقایسه با نمونه شاهد متابولیت‌های ثانویه اکسیداسیون پائین‌تری نشان داد (Tian et al., 2022).

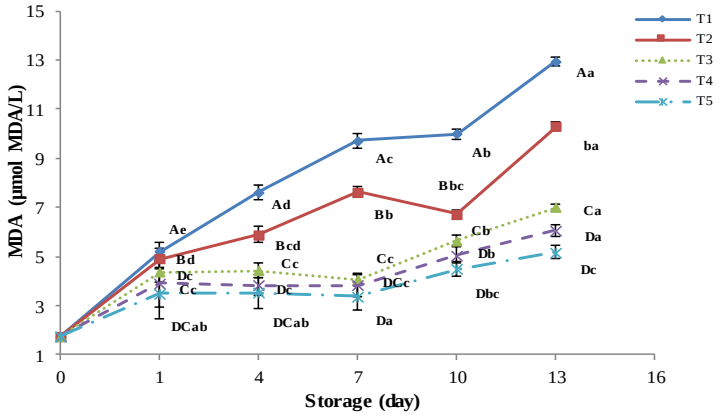

Figure 2: Changes in MDA of milk-carrot drinks during storage at 4°C.

(T0, T1, T2, T3, T4 and T5 contain 0, 10, 20, 30, 40 and 50% carrot juice, respectively.)
Different small letters in the same row represents significant differences between days in specific treatment ($P < 0.05$).
Different capital letters in the same column represents significant differences between treatments in specific day ($P < 0.05$).
Numbers with the same small letters in same columns are not significantly different ($p < 0.05$).

مهار پراکسیداسیون لیپیدها و MDA با ترکیبات زیست-فعال

در اکسیداسیون لیپید، اتواکسیداسیون مهمترین واکنش زنجیره-ای از طریق رادیکال آزاد است. بررسی جدول ۱ نشان می‌دهد نوشیدنی‌های شیر-هویج مقادیر قابل‌توجه ترکیبات زیست‌فعال (ترکیبات پلی‌فنولی، فلاونوئیدها، کاروتنوئیدها، ویتامین C) و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی هستند که توانایی مهار پراکسیداسیون اسیدهای چرب غیراشباع و تشکیل MDA را دارند (شکل‌های ۱ و ۲). در اثر پراکسیداسیون لیپیدها، علاوه بر از دست رفتن ارزش تغذیه‌ای، منجر به تشکیل رادیکال‌های با خواص سمی (شکل ۳) نیز می‌شود، لذا کنترل فرآیندهای اکسیداتیو در صنعت غذا اهمیت حیاتی دارد. با اینکه اکسیداسیون اسیدهای چرب غیراشباع به طور گسترده‌ای مورد بررسی قرار گرفته است، اما واکنش‌های پیچیده درگیر در این فرآیند و همچنین مسیرهای مختلف و عوامل موثر بر آنها، باعث‌شده است مکانیسم‌های اکسیداسیون هنوز به طور کامل شناخته نشده

باشند (Domínguez *et al.*, 2019). اسیدهای چرب غیراشباع در مقابل حمله اکسیدان‌ها بسیار حساس بوده و تا به امروز، مالوندی‌آلدئید، ۴-هیدروکسی-۲-نونال و ۲-ایزوپروستان به‌عنوان نشانگرهای زیستی اصلی برای ارزیابی پراکسیداسیون لیپیدی می‌باشند که همه آنها از اسیدهای چرب چندغیراشباعی مشتق می‌شوند (Mas-Bargues *et al.*, 2021).

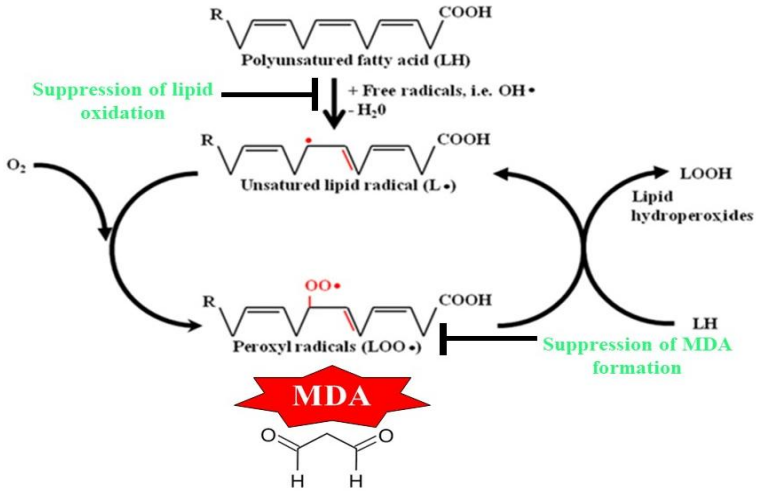

Figure 3: Mechanism of unsaturated fatty acid peroxidation and MDA formation and possibility of their suppression with bioactive compounds.

مطالعات متعددی نشان داده است عصاره‌های گیاهی با خواص آنتی‌اکسیدانی مانند هسته انگور، خار مریم، پوست درخت کاج، زردچوبه و عصاره زالزالک باعث سرکوب اکسیداسیون لیپیدها می‌شوند. در شرایط مطالعه با مکمل‌ها، عصاره هسته انگور موثرترین آنتی‌اکسیدان برای مهار اکسیداسیون لیپیدها گزارش شده است (Bahja et al., 2022). با توجه به شکل ۳، مهمترین مسیرهای مهار و سرکوب پراکسیداسیون لیپیدها و تشکیل MDA، می‌تواند مهار رادیکال‌های آزاد مانند رادیکال هیدروکسیل (OH·) و پراکسیل (LOO·) با کمک ترکیبات زیست‌فعال آب هویج باشند.

نتیجه‌گیری

هویج به‌عنوان منبع غنی از ترکیبات کاروتنوئیدی مانند آلفا و بتا-کاروتن، ترکیبات فنولی و آسکوربیک اسید، خاصیت آنتی-اکسیداسیونی و خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد در نوشیدنی شیر-هویج را دارد. منبع عمده ترکیبات فنولی در نوشیدنی شیر-هویج مربوط به آب هویج است. طی ذخیره‌سازی، تغییرات ترکیبات آنتی‌اکسیدانی نوشیدنی شیر-هویج ممکن است در نتیجه مهار تشکیل ترکیبات مضر مانند MDA حاصل از اکسیداسیون ثانویه اسیدهای چرب غیراشباع باشد. مهمترین مسیرهای مهار و سرکوب پراکسیداسیون لیپیدها و تشکیل MDA، می‌تواند مهار رادیکال‌های آزاد مانند رادیکال هیدروکسیل و پراکسیل با کمک ترکیبات زیست‌فعال آب هویج باشند. همچنین این ترکیبات می‌توانند به عنوان عامل بازدارنده لیپولیز در طی نگهداری عمل نمایند. در نهایت می‌توان نتیجه-گیری کرد که افزودن آب هویج به شیر علاوه بر افزایش ارزش تغذیه‌ای، در پایداری اکسیداتیو و لیپولیتیک شیر نیز نقش مهمی ایفا نماید

References

Anjani, G., Ayustaningwarno, F., and Eviana, R. 2022. Critical review on the immunomodulatory activities of carrot's β-carotene and other bioactive compounds. Journal of Functional Foods, 99, 105303.

Aubert, C., Bruaut, M., and Chalot, G. 2022. Spatial distribution of sugars, organic acids, vitamin C, carotenoids, tocopherols, 6-methoxymellein, polyacetylenic compounds, polyphenols and terpenes in two orange Nantes type carrots (Daucus carota L.). Journal of Food Composition and Analysis, 108, 104421.

Aubourg, S. P. 1993. Interaction of malondialdehyde with biological molecules-new trends about reactivity and significance. International journal of food science and technology, 28(4), 323-335.

Ayala, A., Muñoz, M. F., and Argüelles, S. 2014. Lipid peroxidation: production, metabolism, and signaling mechanisms of malondialdehyde and 4-hydroxy-2-nonenal. Oxidative medicine and cellular longevity, 2014(1), 360438.

Bahja, J., Stewart, N. A., and Dymond, M. K. 2022. Oxidative stress is inhibited by plant-based supplements: A quantitative lipidomic analysis of antioxidant activity and lipid compositional change. Advances in Redox Research, 6, 100054.

Barrera, G., Pizzimenti, S., Daga, M., Dianzani, C., Arcaro, A., Cetrangolo, G. P., ... and Gentile, F. 2018. Lipid peroxidation-derived aldehydes, 4-hydroxynonenal and malondialdehyde in aging-related disorders. Antioxidants, 7(8), 102.

Chen, M., Zhao, Y., and Yu, S. 2015. Optimisation of ultrasonic-assisted extraction of phenolic compounds, antioxidants, and anthocyanins from sugar beet molasses. Food chemistry, 172, 543–550.

Domínguez, R., Pateiro, M., Gagaoua, M., Barba, F. J., Zhang, W., and Lorenzo, J. M. 2019. A comprehensive review on lipid oxidation in meat and meat products. Antioxidants, 8(10), 429.

Elias, R. J., Kellerby, S. S., and Decker, E.A. 2008. Antioxidant activity of proteins and peptides. Critical reviews in food science and nutrition, 48(5), 430-441.

Esterbauer, H., Schaur, R. J., and Zollner, H. 1991. Chemistry and biochemistry of 4-hydroxynonenal, malonaldehyde and related aldehydes. Free radical Biology and medicine, 11(1), 81-128.

Evers, J. M. (2003). Determination of free fatty acids in milk using the BDI method—Some practical and theoretical aspects. International Dairy Journal, 13, 111–121.

Farmani, B., Bodbodak, S., and Yerlikaya, O. 2024. Development of a novel milk-based product fortified with carrot juice. Food Bioscience, 58, 103792.

Fenaille, F., Mottier, P., Turesky, R. J., Ali, S., and Guy, P. A. 2001. Comparison of analytical techniques to quantify malondialdehyde in milk powders. Journal of Chromatography, 921(2), 237-245.

Gastélum-Estrada, A., Rabadán-Chávez, G., Reza-Zaldívar, E. E., de la Cruz-López, J. L., Fuentes-Palma, S. A., Mojica, L., Díaz de la Garza, R. I., and Jacobo-Velázquez, D. A. 2023. Biofortified beverage with chlorogenic acid from stressed carrots: Anti-obesogenic, antioxidant, and anti-inflammatory properties. Foods, 12(21), 3959.

Hafeez, H. T., Muzammil, H. S., Ahmad, Z., Alsulami, T., Waseem, M., Mehmood, T., ... and Abdi, G. 2025. Assessment of nutritional, antioxidant, physicochemical, and storage stability of carrot powder supplemented goat milk yogurt. Journal of Agriculture and Food Research, 19, 101581.

Hashemi1, Z., Hojati M., and Taharnejad, M. 2014. Evaluation of antioxidant activity of Artemisia sieberi essential oil on oxidative stability of frying oil. Food Processing and Preservation Journal, Vol. 6(1), 19-32 (in persian).

Jooyandeh, H., and Hojjati, M. 2023. Impact of Animal Lipase Enzymes on Development of Lipolysis in Iranian-White Brined Cheese during Cold Storage. Food Processing and Preservation Journal, Vol. 14(4), 37-54 (in persian).

Lamuela-Raventós, R.M. 2018. Folin–Ciocalteu method for the measurement of total phenolic content and antioxidant capacity. Measurement of antioxidant activity and capacity: Recent trends and applications, 107-115.

Machmudah, S., and Goto, M. 2013. Methods for extraction and analysis of carotenoids. Natural products, 12(3), 3367-3411.

Mas-Bargues, C., Escrivá, C., Dromant, M., Borrás, C., and Viña, J. 2021. Lipid peroxidation as measured by chromatographic determination of malondialdehyde. Human plasma reference values in health and disease. Arch Biochem Biophys, 709(108941), 10-1016.

Pamplona, R., Borras, C., Jové, M., Pradas, I., Ferrer, I., and Viña, J. 2019. Redox lipidomics to better understand brain aging and function. Free Radical Biology and Medicine, 144, 310-321.

Ribeiro, D., Freitas, M., Silva, A.M., Carvalho, F., and Fernandes, E. 2018. Antioxidant and pro-oxidant activities of carotenoids and their oxidation products. Food and Chemical Toxicology, 120, 681-699.

Ruiz, B.G., Roux, S., Courtois, F., and Bonazzi, C. 2016. Spectrophotometric method for fast quantification of ascorbic acid and dehydroascorbic acid in simple matrix for kinetics measurements. Food Chemistry, 211, 583-589.

Savage, G. P., McNeil, D. L., and Dutta, P. C. 1998. Vitamin E content and oxidative stability of fatty acids in walnut oils.

Sharma, K. D., Karki, S., Thakur, N. S., and Attri, S. 2012. Chemical composition, functional properties and processing of carrot-a review. Journal of food science and technology, 49(1), 22-32.

Sies, H., and Jones, D. P. 2020. Reactive oxygen species (ROS) as pleiotropic physiological signalling agents. Nature reviews Molecular cell biology, 21(7), 363-383.

Talcott, S., and Howard, L. 1999. Phenolic autoxidation is responsible for color degradation in processed carrot puree. Journal of agricultural and food chemistry, 47(5), 2109-2115.

Tian, X. Z., Wang, X., Ban, C., Luo, Q. Y., Li, J. X., and Lu, Q. 2022. Effect of purple corn anthocyanin on antioxidant activity, volatile compound and sensory property in milk during storage and light prevention. Frontiers in Nutrition, 9, 862689.

Yusuf, E., Wojdyło, A., Oszmiański, J., and Nowicka, P. 2021. Nutritional, phytochemical characteristics and in vitro effect on α-amylase, α-glucosidase, lipase, and cholinesterase activities of 12 coloured carrot varieties. Foods, 10(4), 808.

Zadernowski, R. 2003. Quality of carrot juice as conditioned by raw material and technology. Fruit Processing (3), 183-195.