J. of Nuclear Sci. and Tech.
65, 2013, 65-75

مجله علوم و فنون هسته‌ای
۶۵، ۱۳۹۲، ۶۵-۷۵

اثر پرتو گاما بر برخی از ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی، ترکیب‌های فراسودمند و خاصیت ضداکسایشی آب انار

حمیدرضا علی‌قورچی، محسن برزگر*، محمدعلی سحری، سلیمان عباسی
گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه تربیت مدرس، صندوق پستی: ۳۳۶-۱۴۱۱۵، تهران ـ ایران

چکیده: فرآوری گرمایی تأثیر قابل توجهی بر ترکیب‌های فراسودمند انار دارد. در این پژوهش اثر دزهای مختلف تابش گاما بر برخی از ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی، ترکیب‌های فراسودمند، خاصیت ضداکسایشی و رنگ آب انار رقم‌های ملس ممتاز ساوه و آلک ساوه مورد ارزیابی قرار گرفت. پرتودهی در دزهای ۰ تا ۳ کیلوگری تغییر معنی‌داری در pH، قدرت اسیدی کل و مقدار مواد جامد محلول نمونه‌ها ایجاد نکرد. کاهش مقدار ترکیب‌های فنولی هم معنی‌دار نبود. مقدار آنتوسیانین کل نمونه‌ها بعد از پرتودهی یک کاهش معنی‌دار نشان داد؛ میزان کاهش در آب انارهای دانه‌ی انار ملس ممتاز و آلک ساوه به ترتیب، ۳۴ و ٪۲۹، و در آب انار میوه‌ی کامل انار در حدود، به ترتیب، ۳۲ و ٪۳۰ بود. با افزایش دز پرتودهی، فعالیت ضداکسایشی نمونه‌های انار نسبت به کنترل روند کاهشی داشت اما معنی‌دار نبود. پرتودهی آب انارها تفاوت معنی‌داری در عامل‌های رنگ هانترلب ایجاد کرد. در اثر پرتودهی مقدار *L نمونه‌های آب انار نسبت به کنترل به صورت معنی‌داری افزایش یافت، در حالی‌که مقادیر *a و *b به صورت معنی‌داری کاهش یافتند. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که اثر تخریبی دزهای پایین پرتودهی بر ترکیب‌های فراسودمند و ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی آب انار ناچیز است.

کلیدواژه‌ها: *آب انار، پرتو گاما، ترکیب‌های فراسودمند، خاصیت ضداکسایشی*

Gamma Ray Effects on Some Physicochemical Properties, Functional Compounds and Antioxidant Activity of Pomegranate Juice

H.R. Alighourchi, M. Barzegar*, M.A. Sahari, S. Abbasi
Department of Food Science and Technology, Tarbiat Modares University, P.O.Box: 14115-336, Tehran – Iran

Abstract: Thermal processing affects functional compounds of foodstuffs significantly. In the present research, the effect of gamma ray on the pomegranate juices of Malase Momtaze Saveh and Alak Saveh cvs was studied on some physicochemical properties, functional compounds, antioxidant activity and color of pomegranate juices. There was no significant difference in terms of pH, total titratable acidity and soluble solids content (°Brix) by 0-3 kGy gamma irradiation doses. Irradiation had no significant effect on the reduction of phenolic content of the samples. The total anthocyanin content of pomegranate juices significantly reduced after irradiation. The degradation percentage of the total anthocyanin content of juices obtained from Malase Momtaze Saveh and Alak Saveh arils was 34 and 29%, while these values was about 32 and 30% for juices from the whole pomegranate, respectively. By increasing the irradiation dose, the antioxidant activities of the samples in comparison to control had a decreasing trend, albeit insignificantly. In comparison with the control samples, the treated juices showed significant changes in hunterlab parameters. The L* values of irradiated samples significantly increased, while a* and b* values significantly decreased. Overall, the minimal destructive effects of gamma irradiation on functional compounds and physicochemical characteristics of pomegranate juice can be achievable at low-dose irradiation.

Keywords: ***Pomegranate Juice, Gamma Ray, Functional Compounds, Antioxidant Activity***

*email: mbb@modares.ac.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۹۱/۹/۸ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۲/۷/۱۳

Archive of SID
www.SID.ir

۱. مقدمه

انار با نام علمی پونیکا گراناتوم[۱] متعلق به خانواده‌ی پونیکاسه[۲] بوده و یکی از قدیمی‌ترین میوه‌های شناخته شده است. مصرف میوه‌ی انار به علت شناخته شدن خواص سلامت‌بخش[۳] آن به صورت فزاینده‌ای افزایش یافته است. در سال ۲۰۰۷ میزان تولید انار در جهان ۱٫۵ میلیون تن گزارش شد که ایران تقریباً ٪۴۷ آن را به خود اختصاص داده بود [۱]. انار معمولاً به صورت میوه‌ی تازه، آب انار، مربا، ژله و سایر مکمل‌های انار مصرف می‌شود. متوسط مصرف انار در ایران ۷ تا ۸ کیلوگرم به ازای هر نفر است [۱]. در ایران، انار بیش‌تر به صورت میوه یا آب میوه مصرف می‌شود. باید توجه داشت که نگرانی اصلی در مورد آب میوه‌های فرآوری نشده، آلوده شدن آن‌ها به برخی از ریزجانداران بیماری‌زا است که قادرند در شرایط اسیدی زنده بمانند، به طوری‌که پس از مصرف فرآورده‌های آلوده منجر به مرگ انسان نیز می‌شوند [۲]. رشد میکروبی موجب تخریب خصوصیات حسی و تغذیه‌ای آب میوه‌ها از قبیل ترکیب‌های فراسودمند[۴]، رنگ، طعم و بو می‌شود. از طرف دیگر عدم فرآوری مناسب آب میوه‌ها به ایجاد بیماری در انسان از طریق باکتری‌های بیماری‌زا یا سموم قارچی کمک می‌کند [۳]. بنابراین، با توجه به مشکلات ایجاد شده از مصرف آب میوه‌های پاستوریزه نشده، اداره‌ی غذا و داروی ایالات متحده آمریکا استاندارد کاهش ۵ چرخه‌ای لگاریتمی ریزجانداران بیماری‌زای انسانی مثل اشریشیاکلی[۵] در آب میوه‌ها و آب سبزی‌ها را برای اطمینان از ایمنی چنین فرآورده‌هایی وضع کرده است [۴]. لذا حفظ کیفیت حسی، تغذیه‌ای و میکروبی مواد غذایی، نیازمند فن‌آوری‌های مناسب است تا ایمنی مواد غذایی در راستای مصارف انسانی بهبود یابد.

پرتودهی مواد غذایی که پاستوریزه کردن سرد نامیده می‌شود می‌تواند به منظور کنترل و حذف حشرات یا ریزجانداران عامل فساد و بیماری‌زا از قبیل باکتری‌ها، کپک‌ها، مخمرها و ویروس‌ها مورد استفاده قرار گیرد؛ در نتیجه زمان ماندگاری فرآورده‌های غذایی افزایش می‌یابد [۴]. سازمان‌های بین‌المللی از قبیل FAO و WHO با بررسی همه‌ی پژوهش‌های انجام شده در این زمینه، پرتودهی مواد غذایی را ایمن و مفید دانسته‌اند. ایمنی مواد غذایی پرتودهی شده از چهار جنبه‌ی پرتوشناختی، سم‌شناسی، میکروبی و حفظ ارزش تغذیه‌ای قابل‌توجه است [۵]. کارگروه پرتودهی مواد غذایی در سازمان غذا و داروی ایالات متحده‌ی آمریکا تایید کرده است که بیش از ۹۰ درصد ترکیب‌های پرتوکافتی مواد غذایی پرتودهی شده مشابه آن‌هایی هستند که در حرارت‌دهی، خشک کردن و انجماد مواد غذایی یافت شده‌اند. در غذاهای مرطوب، رادیکال‌های آزاد در کسری از ثانیه ناپدید می‌شوند، ولی در غذاهای خشک، رادیکال‌های آزاد بسیار با ثبات‌تر هستند و به سرعت ناپدید نمی‌شوند [۵]. پرتودهی گاما می‌تواند فعالیت‌های زیستی فرآورده‌های طبیعی را با افزایش بازده استخراج، و بهبود رنگ و فعالیت ضداکسایشی[۶] برخی از فرآورده‌های غذایی افزایش دهد [۶]. پرتودهی فرآورده‌های غذایی با پرتو گاما، پرتو ایکس و پرتوهای الکترونی در ۵۶ کشور مورد استفاده است و ایمنی مواد غذایی توسط WHO، CDC، USDA، و FDA تأیید شده است [۴]. فن‌آوری پرتودهی در کارگروه مشترک FAO/IAEA/WHO به لحاظ بی‌خطر بودن مواد غذایی پرتودهی شده تصویب شده است. در این کارگروه بیان شده است که پرتودهی مواد غذایی تا ۱۰ کیلوگری هیچ خطر سم‌شناختی و تغذیه‌ای خاص یا مسأله‌ی میکروبی ایجاد نمی‌نماید و ایمنی آن برای انسان و مصارف حیوانی تا دز ۵۰ کیلوگری یا کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است [۶]. اما باید توجه داشت که غیرفعال‌سازی میکروبی در دزهای موردنظر پرتودهی می‌تواند خصوصیات حسی برخی مواد غذایی را تحت تأثیر قرار دهد. در این راستا، تجزیه‌ی مشهود آنتوسیانین‌ها در آب انار در ۵ و ۱۰ کیلوگری [۷] و آب انگور در ۲ تا ۸۰ کیلوگری [۸] گزارش شده است.

اثر پرتو گاما در دزهای کم‌تر از ۵ کیلوگری بر فعالیت میکروبی و ضداکسایشی، محتوای قند و رنگ آب‌میوه‌ی تمر هندی در طی نگه‌داری بیان‌گر این است که پرتودهی گاما، بدون ایجاد تغییر محسوس در خصوصیات رنگی نمونه‌های آب‌میوه، موجب بهبود کیفیت میکروبی و ضداکسایشی همراه با رنگ آن‌ها می‌شود [۶]. عموماً مقدار دز پرتودهی می‌تواند به صورت کم (کم‌تر از ۳ کیلوگری)، متوسط (بین ۳ و ۱۰ کیلوگری)، یا بالا (بیش‌تر از ۱۰ کیلوگری) طبقه‌بندی شود [۹]. بیش‌تر آب میوه‌های موجود، تحت فرایند پاستوریزه کردن حرارتی متداول قرار می‌گیرند که منجر به کاهش ترکیب‌های طعمی و فراسودمند آب میوه می‌شود. در پژوهش دیگری، آب میوه‌های انگور، سیب و پرتقال با دزهای پرتو گاما (بین ۲ تا ۸۰ کیلوگری) فرآوری شدند و کاهش آنتوسیانین آب انگور و بتاکاروتن آب پرتقال بعد از ۱۰ کیلوگری مشهود بود، هم‌چنین محتوای آسکوربیک اسید در آب سیب و آب پرتقال کاهش یافت [۹].

www.SID.ir

کاهش خطر آلودگی به ریزجانداران بیماری‌زا، در کنار حفظ خصوصیات طعمی و معطر آب میوه‌ها با استفاده از فن‌آوری‌های غیرگرمایی، موضوع‌های مورد پژوهش هستند تا بتوان با استفاده از این فن‌آوری‌ها، محصول‌های با ارزش افزوده‌ی بالاتر تولید کرد. پژوهش‌هایی در ارتباط با اثر پرتو گاما بر کیفیت میکروبی و فعالیت ضداکسایشی آب سبزی‌های تازه‌ی حاصل از هویج و کلم [۱۰]، بر مقدار آنتوسیانین‌ها و ماندگاری آب انار [۷]، بر ویژگی‌های ظاهری یا معطر آب پرتقال در دزهای پایین تا ۱٫۲۵ کیلوگری [۱۱]، بر کیفیت حسی کنسانتره‌ی آب پرتقال در دزهای ۲٫۵، ۵ و ۵٫۵ کیلوگری [۱۲] و غیره انجام شده است؛ در این پژوهش اثر پرتو گاما بر برخی ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی، ترکیب‌های فراسودمند و فعالیت ضداکسایشی آب انار در دزهای پایین ۰ تا ۳ کیلوگری مورد بررسی قرار گرفت تا دزی از پرتو گاما انتخاب شود که در آن تخریب ترکیب‌های فراسودمند کمینه باشد.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲ مواد شیمیایی

مواد مورد استفاده برای اندازه‌گیری خاصیت ضداکسایشی از قبیل ABTS[۷] رادیکال DPPH[۸] و TPTZ[۹] از شرکت مرک آلمان خریداری شدند. سایر ترکیب‌های شیمیایی مورد استفاده از قبیل پراکسودی سولفیت، سدیم کربنات، سدیم استات و پتاسیم کلرید از شرکت رانکم[۱۰] هند تهیه شدند. بقیه‌ی مواد شیمیایی، واکنش‌گرها (با خلوص تجزیه‌ای) و حلال‌ها ساخت شرکت مرک آلمان بودند.

۲.۲ تهیه‌ی آب انار و آماده‌سازی آن

۲ رقم انار کاملاً رسیده و سالم (ملس ممتاز و آلک ساوه) از مرکز تحقیقات انار ساوه تهیه شد. برای تهیه‌ی آب انار میوه‌ی کامل انار ملس ممتاز ساوه (MMSW) و آلک ساوه (ASW) و دانه‌های ملس ممتاز ساوه (MMSA) و آلک ساوه (ASA)، ابتدا انارهای هر رقم به صورت مجزا در ظرف حاوی آب سرد شسته و خشک شدند. سپس، انارهای انتخابی برش داده شده و دانه‌های آن‌ها به صورت دستی از پوست و سایر اجزا جدا شدند. در مورد میوه‌ی کامل انار نیز بخش خارجی پوست انار با چاقو جدا شد تا آب‌گیری از بخش‌های داخلی پوست و دانه‌ها انجام شود. با استفاده از آب انارگیر دستی فشاری، آب‌گیری انجام شد. عمل تصفیه‌ی نمونه‌های آب انار (۵۰ میلی‌لیتر) با استفاده از سانتریفوژ در مدت ۲ دقیقه با سرعت ۱۰۰۰۰ دور بر دقیقه انجام و آب انار تصفیه شده، تا زمان پرتودهی در ظرف‌های کوچک شیشه‌ای قهوه‌ای رنگ در دمای $-18^{\circ}C$ نگه‌داری شدند.

۳.۲ پرتودهی نمونه‌های آب انار

پرتودهی نمونه‌ها، با تابش‌گر گاماسل Gamma cell-220 irradiator (Nordion, Canada) سازمان انرژی اتمی ایران در دزهای ۰، ۰٫۵، ۱، ۱٫۵، ۲، ۲٫۵ و ۳ کیلوگری با آهنگ ۳٫۶۳ Gy/s انجام شد. بعد از پرتودهی، نمونه‌ها در حمام یخ غوطه‌ور، و به سرعت به آزمایشگاه صنایع غذایی منتقل شدند تا شاخص‌های موردنظر اندازه‌گیری شوند. برای هر تیمار، سه نمونه پرتودهی شد.

۴.۲ اندازه‌گیری pH، قدرت اسیدی کل و مواد جامد محلول

مقادیر pH، قدرت اسیدی کل (برحسب سیتریک اسید) و محتوای مواد جامد محلول (درجه‌ی بریکس) براساس روش‌های ارایه شده در مطالعه‌ی علی‌قورچی و همکاران (۲۰۰۹) اندازه‌گیری شد [۱۳].

۵.۲ تعیین مقدار ترکیب‌های فنولی

مقدار ترکیب‌های فنولی کل با استفاده از معرف فولین- سیوکالتو[۱۱] تعیین شد [۱۴]. نتایج به صورت میلی‌گرم گالیک اسید در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب انار گزارش شد.

۶.۲ ارزیابی آنتوسیانین مونومری کل، رنگ بسپاری و چگالی رنگ کل بعد از فرآوری

غلظت آنتوسیانین کل با روش دیفرانسیلی pH با دو سامانه‌ی بافری شامل بافر پتاسیم کلرید ۰٫۰۲۵ مولار در pH=۱ و pH=۴، و بافر سدیم استات در pH=۴٫۵ در طول موج‌های ۵۱۰ و ۷۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شد [۱۵]. رنگ بسپاری که بیان‌گر تانن‌های بسپاری مقاوم نسبت به رنگ‌بری با بی‌سولفیت و هم‌چنین چگالی رنگ کل که بیان‌گر میزان جذب ترکیب‌های قهوه‌ای رنگ آب انار فرآوری شده است، در طول موج‌های ۴۲۰، ۵۱۰ و ۷۰۰ نانومتر ارزیابی شدند [۱۶].

Archive of SID

www.SID.ir

۷.۲ تعیین فعالیت ضداکسایشی

ظرفیت ضداکسایشی نمونه‌های آب انار بر مبنای قدرت بازدارندگی تشکیل رادیکال‌های آزاد با استفاده از رادیکال DPPH (برحسب درصد بازدارندگی)، رادیکال کاتیون ABTS (برحسب غلظت معادل آسکوربیک اسید/ ۱۰۰ میلی‌لیتر آب انار) و هم‌چنین بر پایه‌ی اندازه‌گیری ظرفیت کاهندگی آهن به روش FRAP (برحسب معادل غلظت سولفات آهن/ ۱۰۰ میلی‌لیتر آب انار) مورد سنجش قرار گرفت [۱۴، ۱۷].

۸.۲ بررسی تغییرات رنگ نمونه‌های آب انار

رنگ نمونه‌های آب انار قبل و بعد از فرآوری، با استفاده از دستگاه هانترلب (Colorflex, Virginia, USA) بررسی و شاخص‌های *L برای سنجش تقریبی روشنی (۱۰۰+)/ تیرگی (۰)، *a برای قرمزی (۱۰۰+)/ سبزی (۱۰۰-) و *b برای زردی (۱۰۰+)/ آبی (۱۰۰-) محاسبه شد. براساس این عامل‌ها، شاخص‌هایی چون کروما $(Chroma = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2})$ و اختلاف رنگ کلی $(\Delta E = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{1/2})$ برآورد شد [۱۸، ۱۹].

۹.۲ تجزیه‌ی آماری

تمام آزمایش‌ها در سه تکرار انجام و نتایج به صورت میانگین ± انحراف معیار گزارش شده‌اند. تجزیه‌ی آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS به انجام رسید.

۳ نتایج و بحث

۱.۳ روند تغییر pH، قدرت اسیدی کل و مواد جامد محلول

در جدول ۱ برخی ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی (pH، قدرت اسیدی کل برحسب اسید غالب انار یعنی سیتریک اسید، و مواد جامد محلول برحسب بریکس) و مقدار ترکیب‌های فراسودمند (ترکیب‌های فنولی و آنتوسیانین کل) نمونه‌های آب انار تازه نشان داده شده است. براساس نتایج به دست آمده مشخص شد که پرتودهی در محدوده‌ی دز ۰٫۵ تا ۳ کیلوگری سبب تغییر معنی‌دار در pH، قدرت اسیدی کل و بریکس نمونه‌ها نشد؛ pH، قدرت اسیدی کل و بریکس نمونه‌های پرتودهی شده، تفاوتی از نظر آماری با نمونه‌ی شاهد نشان ندادند (داده‌ها گزارش نشده‌اند). در این راستا، قدرت اسیدی نمونه‌های پرتودهی شده‌ی شراب برنج در دزهای ۲۰۰ تا ۸۰۰ گری و نمونه‌های پرتودهی نشده‌ی آن یکسان گزارش شده است [۲۰]؛ این پژوهش نشان داد که پرتودهی، افزایش یا کاهش اسیدها را، که مرتبط با طعم شراب نیز هستند، به دنبال نداشت. ولی در پژوهش دیگری که در مورد نکتار کیوی انجام شد روند متفاوتی به میزان ۱ تا ۱٫۵ درصد بر مبنای سیتریک اسید مشاهده شد [۲۱]، به طوری‌که قدرت اسیدی (درصد سیتریک اسید) نکتار کیوی پرتودهی شده در دز ۰٫۵ کیلوگری افزایش یافت در حالی‌که قدرت اسیدی در دزهای ۱ و ۲ کیلوگری به لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با نمونه‌ی کنترل نشان نداد. هم‌چنین با افزایش دز پرتودهی، مقدار pH افزایش یافته و منجر به افزایش اسید نکتار کیوی شد. این پژوهش بیان‌گر آن است که پرتودهی، بریکس را تحت تأثیر قرار می‌دهد، به طوری‌که، مقدار مواد جامد محلول نمونه‌های پرتودهی شده در ۲ کیلوگری بالاتر بود. از طرفی مقدار مواد جامد نکتار کیوی پرتودهی شده در ۱ کیلوگری مشابه کنترل بود.

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی و مقدار ترکیب‌های فراسودمند نمونه‌های آب انار*

	MMSA**	ASA	MMSW	ASW
مقدار مواد جامد محلول (بریکس)	۱۶٫۷±۰٫۲d**	۱۷٫۲±۰٫۱c	۱۸٫۱±۰٫۱b	۱۸٫۹±۰٫۱a
pH	۳٫۵۶±۰٫۰۱a	۳٫۰۹±۰٫۰۲b	۳٫۵۴±۰٫۰۱a	۳٫۰۵±۰٫۰۱b
قدرت اسیدی (g/۱۰۰mL)	۰٫۸۱±۰٫۰۱d	۱٫۶۱±۰٫۰۰b	۰٫۹۳±۰٫۰۱c	۱٫۶۷±۰٫۰۲a
مقدار آنتوسیانین کل (mg/L)	۳۷۵٫۵۳±۱۲٫۹۱b	۴۰۹٫۳۹±۶٫۰۸a	۳۳۸٫۷۳±۳٫۳۰d	۳۵۲٫۸۶±۴٫۰۵c
مقدار ترکیب‌های فنولی کل (mg/۱۰۰mL)	۲۱۱٫۲۳±۱۳٫۱۶c	۲۴۱٫۵۴±۱۹٫۵۵b	۲۸۱٫۶۰±۱۲٫۰۵a	۲۹۰٫۶۷±۱۴٫۹۶a

* داده‌ها، میانگین سه تکرار ± انحراف میعار هستند.

** علایم مختلف (a-d) در هر ردیف بیان‌گر تفاوت معنی‌دار در سطح ۰٫۰۱ درصد هستند (آزمون توکی).

www.SID.ir

۲.۳ اثر تابش گاما بر مقدار ترکیب‌های فنولی کل

مقدار ترکیب‌های فنولی کل نمونه‌های آب انار با استفاده از روش فولین- سیوکالتو برحسب میلی‌گرم گالیک اسید در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب انار گزارش شده است. تأثیر دزهای مختلف پرتو گاما بر مقدار ترکیب‌های فنولی کل نمونه‌های آب انار در محدوده‌ی ۰ تا ۳ کیلوگری در جدول ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، پرتودهی سبب کاهش مقدار ترکیب‌های فنولی نمونه‌های آب انار مورد مطالعه شد (به دلیل مشاهده‌ی روند تغییرات مشابه، نتایج مربوط به آب انار رقم ملس ممتاز ساوه نشان داده نشده است). ولی باید توجه داشت که این کاهش معنی‌دار نبود ($p<0,01$). میزان این کاهش در مورد آب انارهای دانه‌ی انار بیش‌تر- در آب انارهای دانه‌ی انار ملس ممتاز و آلک ساوه، به ترتیب، ۲۹ و ۲۶ درصد- بود، در حالی‌که در آب انار میوه‌ی کامل انار این کاهش، به ترتیب، در حدود ۲۴ و ۲۰ درصد بود. به نظر می‌رسد که کاهش بیش‌تر مقدار ترکیب‌های فنولی در آب انار دانه‌ی انار به دلیل کاهش آنتوسیانین‌های موجود در دانه‌ی انار باشد که حساسیت بیش‌تری نسبت به تجزیه شدن در برابر پرتودهی دارند [۲۲]، در حالی‌که آب انارهای میوه‌ی کامل انار دارای ترکیب‌های فنولی مختلف هستند که ساختار متفاوتی نسبت به آنتوسیانین‌ها دارند و بیش‌تر به شکل بسپارهای الاجیک اسید و گالیک اسید[۱۲] هستند [۲۳]. بنابراین، به نظر می‌رسد که پرتودهی ممکن است سبب شکسته شدن ترکیب‌های فنولی بسپاری و افزایش مقدار ترکیب‌های فنولی مجزا شود که آزاد شدن ترکیب‌های فنولی از ساختار بسپاری، مرحله‌ی آغازین تجزیه‌ی ترکیب‌های فنولی است. از طرفی کاهش ترکیب‌های فنولی می‌تواند ناشی از تجزیه‌ی اکسایشی ترکیب‌های فنولی به وسیله‌ی آنزیم‌های باقی‌مانده باشد [۲۳].

در مطالعه‌های انجام شده در مورد تأثیر پرتو بر ترکیب‌های فراسودمند میوه‌ها و سبزی‌ها و فرآورده‌های آن‌ها نتایج متفاوتی گزارش شده است. پرتودهی آب میوه‌ی تمر هندی تازه در دزهای ۱، ۳ و ۵ کیلوگری بیان‌گر افزایش مقدار ترکیب‌های فنولی کل است، به طوری‌که در دزهای ۳ و ۵ کیلوگری افزایش معنی‌داری مشاهده می‌شود [۶]. ترکیب پلی‌فنولی غالب در تمر هندی شکل‌های مختلف پروسیانیدین‌ها[۱۳] بوده [۶] و افزایش مقدار ترکیب‌های فنولی کل ممکن است ناشی از آزاد شدن ترکیب‌های فنولی از ترکیب‌های گلیکوزیدی و تجزیه‌ی ترکیب‌های فنولی بزرگ‌تر به ترکیب‌های کوچک‌تر در اثر پرتو گاما باشد [۲۴]. اثرهای پرتو از طریق سازوکارهای مستقیم و غیرمستقیم اعمال می‌شود. در مورد اثرهای غیرمستقیم، پرتوکافت آب منجر به تولید رادیکال‌هایی از قبیل الکترون‌های آب‌پوشیده، رادیکال‌های هیدروکسیل و اتم‌های هیدروژن می‌شود. این رادیکال‌ها ممکن است موجب شکسته شدن پیوندهای گلیکوزیدی پروسیانیدین‌های تری‌مر، تترامر، پنتامر و هگزامر موجود در آب میوه‌ی تمر هندی و شکل‌گیری مونومرهای پروسیانیدین شده باشد که این امر موجب افزایش مقدار ترکیب‌های فنولی کل آب میوه‌ی تمر هندی پرتودهی شده می‌شود [۶]. پرتودهی آب هویج و آب کلم در دزهای ۳ و ۵ کیلوگری نشان داد که مقدار ترکیب‌های فنولی کل در آب کلم پرتودهی شده به صورت معنی‌داری کم‌تر از نمونه‌ی شاهد است. با این حال، مقدار ترکیب‌های فنولی کل آب هویج پرتودهی شده نسبت به نمونه‌ی شاهد بلافاصله بعد از پرتودهی بیش‌تر بود. در مورد آب هویج پرتودهی شده، حذف رادیکال‌ها توسط بتا- کاروتن ممکن است به عنوان دلیل احتمالی و فرضی مدنظر قرار گیرد [۱۰]. پرتودهی گاما در گستره‌ی ۲ تا ۱۶ کیلوگری سبب افزایش معنی‌دار مقدار ترکیب‌های فنولی کل در عصاره‌های پوست بادام شده است که حداکثر مقدار آن در دز ۴ کیلوگری به میزان ۴۵ درصد بوده است. افزایش مقدار ترکیب‌های فنولی در عصاره‌های بادام پرتودهی شده به آزاد شدن ترکیب‌های فنولی از ترکیب‌های گلیکوزیدی و تجزیه‌ی ترکیب‌های فنولی بزرگ‌تر به کوچک‌تر نسبت داده شده است. در عصاره‌های پوست بادام پرتودهی شده که دارای مقدار بالاتر ترکیب‌های فنولی بودند، فعالیت ضداکسایشی بالاتر این عصاره‌ها اثبات شد [۲۴]. در پژوهش دیگری مشخص شد که پرتودهی گاما به طور قابل ملاحظه‌ای غلظت ترکیب‌های فنولی در نمونه‌های گوجه‌فرنگی را کاهش می‌دهد [۲۵]. نتیجه‌ی مشابهی در مورد کلم شور گزارش شده است [۲۶].

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲. مقدار ترکیب‌های فنولی، آنتوسیانین کل و فعالیت ضد اکسایشی در آب انارهای پرتودهی شده و شاهد*

آب انار	دز گاما (kGy)	TPC*** (mg/۱۰۰mL)	TMA (mg/L)	DPPH (٪)	ABTS (mg/۱۰۰mL)	FRAP (mg/۱۰۰mL)
دانه‌ی انار آلک ساوه	۰	۲۴۱٫۵۴±۱۹٫۵۵a**	۴۰۹٫۳۹±۶٫۰۸a	۶۷٫۰۸±۵٫۵۳a	۱۳۸۰٫۴۷±۱۰۰٫۴۸a	۳۸٫۶۱±۳٫۹۴a
	۰٫۵	۲۳۸٫۹۲±۲۸٫۲۴ a	۳۹۸٫۵۱±۱۸٫۸۹ a	۶۶٫۸۹±۳٫۱۵a	۱۳۷۹٫۷۹±۱۲۰٫۴۴a	۳۷٫۹۶±۲٫۴۹a
	۱	۲۳۲٫۵۴±۱۴٫۷۲ a	۳۶۳٫۷۱±۱۱٫۱۴ab	۶۵٫۲۹±۷٫۲۵a	۱۳۶۳٫۶۳±۱۰۰٫۱۲a	۳۶٫۴۰±۴٫۲۰a
	۱٫۵	۲۲۶٫۴۲±۲٫۴۹a	۳۶۲٫۳۱±۱۱٫۷۸ab	۶۵٫۰۰±۴٫۹۰a	۱۳۰۶٫۹۰±۸۶٫۱۶a	۳۵٫۸۹±۲٫۲۴a
	۲	۲۰۶٫۴۹±۱۰٫۸۸a	۳۳۳٫۴۹±۱۷٫۹۳bc	۶۴٫۰۰±۱٫۹۴a	۱۲۸۹٫۹۶±۸۰٫۹۴a	۳۴٫۸۵±۲٫۵۴a
	۲٫۵	۲۰۳٫۸۲±۲۹٫۲۱a	۳۱۳٫۸۶±۱۷٫۴۳bc	۶۳٫۲۷±۴٫۵۹a	۱۲۰۸٫۸۲±۶۷٫۸۳a	۳۳٫۱۸±۲٫۴۶a
	۳	۱۷۸٫۳۷±۲۱٫۸۸a	۲۸۷٫۱۳±۱۳٫۳۸c	۵۹٫۹۸±۴٫۲۳a	۱۱۰۸٫۷۸±۸۸٫۳۴a	۳۰٫۳۶±۲٫۱۱a
میوه‌ی کامل آلک ساوه	۰	۲۹۰٫۶۷±۱۴٫۹۶ a	۳۵۲٫۸۶±۴٫۰۵ a	۷۵٫۶۹±۳٫۲۲a	۱۵۷۰٫۹۴±۱۲۸٫۳۹a	۴۲٫۵۰±۵٫۴۵a
	۰٫۵	۲۹۵٫۶۵±۲۹٫۵۶ a	۳۴۰٫۵۰±۸٫۴۲ ab	۷۵٫۵۷±۱٫۸۶a	۱۶۸۴٫۹۵±۱۲۰٫۹۲a	۴۳٫۵۵±۴٫۸۴a
	۱	۲۹۴٫۰۵±۳۲٫۷۹ a	۳۳۱٫۵۵±۱۳٫۲۷ab	۷۴٫۸۱±۱٫۶۸a	۱۶۰۹٫۰۰±۹۵٫۰۱a	۴۳٫۳۷±۱٫۸۵a
	۱٫۵	۲۷۶٫۳۸±۲۴٫۸۳ a	۳۱۳٫۳۱±۸٫۰۵bc	۷۳٫۶۱±۳٫۷۱a	۱۵۹۲٫۳۳±۵۳٫۷۱a	۴۲٫۳۵±۱٫۱۴a
	۲	۲۵۲٫۹۰±۳۰٫۶۲ a	۲۹۹٫۸۲±۱۱٫۲۴cd	۷۳٫۱۱±۱٫۲۱a	۱۵۷۱٫۷۵±۹۵٫۶۲a	۴۱٫۵۸±۳٫۶۳a
	۲٫۵	۲۴۵٫۵۵±۲۹٫۵۱ a	۲۶۵٫۱۸±۱۳٫۳۱de	۷۱٫۴۰±۴٫۴۲a	۱۵۱۳٫۰۰±۷۸٫۶۴a	۳۸٫۵۲±۲٫۲۳a
	۳	۲۳۰٫۳۵±۱۴٫۶۶ a	۲۴۴٫۲۰±۷٫۷۵e	۷۰٫۰۸±۱٫۲۰a	۱۴۴۷٫۳۳±۵۸٫۰۹a	۳۶٫۱۰±۱٫۳۳a

* داده‌ها، میانگین سه تکرار ± انحراف میعار هستند.

** علایم مختلف (a-e) در هر ستون بیان‌گر تفاوت معنی‌دار در سطح ۰٫۰۱ درصد هستند (آزمون توکی).

*** علایم TPC، TMA بیان‌گر، به ترتیب، مقدار ترکیب‌های فنولی کل و آنتوسیانین کل بوده و علایم DPPH، ABTS و FRAP بیان‌گر سنجش فعالیت ضداکسایشی نمونه‌ها به سه روش متفاوت هستند.

۳.۳ تأثیر پرتو گاما بر مقدار آنتوسیانین کل

رنگ و ظاهر آب انار یکی از معیارهای حسی تأثیرگذار بر خرید مشتری است و در آب انار، آنتوسیانین‌ها نقش قابل‌توجهی در رنگ جذاب قرمز آن دارند. جدول ۲ مقدار آنتوسیانین کل آب انار رقم آلک ساوه را قبل و بعد از پرتودهی در دزهای مختلف پرتو گاما در محدوده‌ی ۰ تا ۳ کیلوگری نشان می‌دهد (به دلیل مشاهده‌ی روند تغییرات مشابه، نتایج مربوط به آب انار رقم ملس ممتاز ساوه نشان داده نشده است). همان‌طور که از جدول ۲ مشاهده می‌شود بین آب انار دانه و آب انار میوه‌ی کامل رقم آلک ساوه از نظر مقدار آنتوسیانین‌ها اختلاف معنی‌داری وجود دارد و مقدار آنتوسیانین کل در آب انارهای مورد مطالعه بعد از پرتودهی کاهش معنی‌داری را، که وابسته به دز است ($p<۰٫۰۱$)، نشان دادند. باید توجه داشت که از نظر کاهش مقدار آنتوسیانین‌ها تفاوت معنی‌داری بین آب انارهای میوه‌ی کامل و دانه‌های انار وجود نداشت ($p<۰٫۰۱$) به طوری‌که میزان کاهش در آب انارهای دانه‌ی انار ملس ممتاز و آلک ساوه ۳۴ و ۲۹ درصد بود، و در مورد آب انار میوه‌ی کامل انار این کاهش در حدود ۳۲ و ۳۰ درصد بود.

نتایج داده شده در این جدول بیان‌گر آن است که اثر دزهای مختلف، بر مقدار آنتوسیانین‌های همه‌ی آب انارها معنی‌دار است ($p<۰٫۰۱$). ویژگی‌های ذاتی فرآورده و فرایند از قبیل pH، دما، نور، اکسیژن، آنزیم‌ها، آسکوربیک اسید، قندها، آنزیم‌ها، یون‌های فلزی، هم‌پیگمانی (شکل‌گیری کمپلکس‌های بین‌مولکولی و درون مولکولی، توده شدن و کمپلکس شدن با فلزات) همراه با ساختار شیمیایی و غلظت آنتوسیانین‌ها می‌تواند پایداری آنتوسیانین‌ها را تحت تأثیر قرار دهد [۷، ۲۷]. علاوه بر این ویژگی‌ها، تشکیل رادیکال‌های هیدروکسیل در اثر پرتوکافت آب می‌تواند منجر به تجزیه‌ی شیمیایی آنتوسیانین‌ها با باز شدن حلقه و شکل‌گیری چالکون‌ها شود. از طرفی میزان کاهش مقدار آنتوسیانین کل بیش‌تر از مقدار ترکیب‌های فنولی کل بود که این امر می‌تواند ناشی از حساسیت بیش‌تر این ترکیب‌ها نسبت به تجزیه شدن در اثر عوامل درونی و بیرونی باشد، زیرا ترکیب‌های فنولی مختلف موجود در انار ساختار متفاوتی نسبت به آنتوسیانین‌ها دارند و بیش‌تر به شکل بسپار الاجیک اسید و گالیک اسید هستند [۲۳].

Archive of SID

www.SID.ir

چاچین و همکاران در پژوهشی، اثر دزهای (۲ تا ۸۰ کیلوگری) پرتو گاما بر آب میوه‌های انگور، سیب و پرتقال را بررسی کردند [۸]. آن‌ها گزارش کردند که دزهای بالاتر از ۱۰ کیلوگری اثر تخریبی آشکاری بر مقدار آنتوسیانین‌ها دارد و این اثر تخریبی تا ۸۰ کیلوگری وابسته به دز است و با افزایش دز اعمالی شدت تخریب افزایش می‌یابد. در پژوهش دیگری اثر پرتو گاما در محدوده‌ی ۰ تا ۹ کیلوگری به منظور افزایش استخراج آنتوسیانین‌ها از تفاله‌ی انگور مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که پرتوهای گاما در ترکیب با ۱٪ متابی‌سولفیت سدیم در طی بسته‌بندی و ۲۰۰۰ppm گاز دی‌اکسید گوگرد در طی استخراج ترکیب‌های فنولیک، از کاهش آنتوسیانین‌های تفاله‌ی انگور جلوگیری می‌کند. به طوری‌که محتوای آنتوسیانین تفاله‌ی انگور در همه دزهای استفاده شده به ویژه ۶ کیلوگری در مقایسه با نمونه‌ی شاهد افزایش می‌یابد [۲۸]. هم‌چنین پرتودهی دانه‌های برنج رنگدانه‌دار (سیاه و قرمز) سبب کاهش دو آنتوسیانین سیانیدین و پئونیدین ۳- گلوکوزید شد، اما کاهش این ترکیب‌ها به طور کامل وابسته به روند دز پرتودهی نبود و بر خلاف انتظار، در دزهای ۶ و ۸ کیلوگری مقدار کل آنتوسیانین‌ها و ترکیب‌های فنولی در برنج سیاه به صورت معنی‌داری افزایش یافت [۲۹].

۴.۳ تأثیر پرتو گاما بر فعالیت ضداکسایشی

با توجه به جدول ۲ توانایی ضداکسایشی نمونه‌های آب انار آلک ساوه با استفاده از روش‌های DPPH، ABTS و FRAP مورد ارزیابی قرار گرفت (به دلیل مشاهده‌ی روند تغییرات مشابه، نتایج مربوط به آب انار رقم ملس ممتاز ساوه نشان داده نشده است). براساس نتایج به دست آمده مشخص شد که با افزایش دز پرتو، فعالیت ضداکسایشی نمونه‌های انار نسبت به نمونه‌ی شاهد کاهش نشان می‌دهد. همانند مقدار ترکیب‌های فنولی کل، میزان کاهش فعالیت ضداکسایشی در نمونه‌های آب انار دانه‌ی انار نسبت به میوه‌ی کامل انار بیش‌تر بود که این امر بیان‌گر همبستگی فعالیت ضداکسایشی با مقدار ترکیب‌های فنولی کل در نمونه‌های آب انار است. اما چنین همبستگی بین مقدار آنتوسیانین کل و فعالیت ضداکسایشی مشاهده نشد. از طرفی روند تغییرات فعالیت ضداکسایشی مورد سنجش با روش‌های DPPH و ABTS و FRAP به میزان زیادی مشابه یک‌دیگر بود.

ارزیابی توانایی ضداکسایشی آب سبزی‌هایی مثل آب کلم و هویج پرتودهی شده در دزهای ۰، ۳ و ۵ کیلوگری [۱۰] و آب میوه‌ی تمر هندی پرتودهی شده در دزهای ۰، ۱، ۳ و ۵ کیلوگری [۶] با روش‌های FRAP و DPPH نشان داد که پرتو گاما موجب افزایش معنی‌دار یا حفظ ویژگی ضداکسایشی آب میوه‌ی تمر هندی و آب هویج شد، اما در آب کلم پرتودهی شده روند کاهشی مشاهده شد. از طرفی در آب میوه‌ی تمر هندی با افزایش دز پرتو، فعالیت بازدارندگی رادیکال DPPH افزایش معنی‌داری نشان نداد. هم‌چنین پرتودهی عصاره‌ی برگ چای سبز در دزهای ۱۰ و ۲۰ کیلوگری موجب افزایش معنی‌دار توانایی بازدارندگی رادیکال DPPH شد [۳۰]. در مقابل، کاهش توانایی بازدارندگی کلم چینی بلافاصله بعد از پرتودهی در دز ۲ کیلوگری مشاهده شد [۲۶]. پرتودهی هم‌چنین به کاهش معنی‌دار فعالیت بازدارندگی رادیکال DPPH عصاره‌های متانولی فلفل سیاه منجر شد [۳۱]. گزارش شده است که ترکیب‌های فنولی و آسکوربیک اسید، ترکیب‌های ضداکسایشی اصلی در میوه‌ها و سبزی‌ها هستند [۳۲]. آسکوربیک اسید، ویتامین محلول در آب، نسبت به پرتودهی و سایر روش‌های فرآوری بسیار حساس است [۳۳]. فرض بر این است که نقش ضداکسایشی ویتامین C بسیار بیش‌تر از ترکیب‌های فنولی ایجاد شده در اثر پرتودهی است. هم‌چنین عدم کاهش فعالیت ضداکسایشی آب هویج، به حضور بتا-کاروتن نسبت داده می‌شود. بتا- کاروتن و سایر ترکیب‌های ضداکسایشی دارای نقش هم‌افزایی[۱۴] حفاظتی در برابر اکسایش هستند [۳۴]. هم‌چنین تأثیر ناچیز پرتو بر فعالیت ضداکسایشی برگ‌های زیتون به مقدار پایین آب آن و کمینه بودن شکل‌گیری رادیکال‌های آزاد نسبت داده شده است [۳۵]. در واقع، پرتوکافت آب به تولید رادیکال‌هایی از قبیل الکترون‌های آب پوشیده، رادیکال‌های هیدروکسیل و اتم‌های هیدروژن می‌انجامد که به علت شکسته شدن برخی از پیوندها به وسیله‌ی این رادیکال‌ها، تغییرات ساختاری احتمالی در ترکیب‌های فعال از نظر ضداکسایشی ایجاد می‌شود. در این راستا عدم تأثیر معنی‌دار پرتو گاما در ۲۰ کیلوگری بر فعالیت ضداکسایشی فرآورده‌های جانبی چای سبز و عصاره‌ی برگ چای سبز گزارش شده است [۳۶]. با این وجود، افزایش فعالیت ضداکسایشی در اثر پرتودهی با گاما در برخی ترکیب‌های گیاهی از قبیل پوست بادام تیمار شده تا ۱۶ کیلوگری گزارش شده است [۲۴].

Archive of SID

www.SID.ir

همچنین گزارش شده است که پرتودهی، به شکل‌گیری محصول‌های واکنش میلارد منجر می‌شود و باید توجه داشت که محصول‌های واکنش میلارد دارای فعالیت ضداکسایشی بالقوه در سامانه‌ی حقیقی مواد غذایی هستند. محصول‌های واکنش میلارد قادر به حذف رادیکال هیدروکسیل و رادیکال آنیون سوپراکسید هستند. شکل‌گیری محصول‌های واکنش میلارد می‌تواند به عنوان دلیل حفظ ضداکسایندهها در آب میوه‌ی تمر هندی، مدنظر قرار گیرد [۶].

۵.۳ تغییر عامل‌های رنگی هانترلب

ظاهر، یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های کیفی در مواد غذایی تازه و فرآوری شده و بازاریابی آن‌ها است. از نظر مشتری، رنگ مواد غذایی تأثیر به سزایی بر کیفیت مواد غذایی دارد و می‌توان براساس همبستگی رنگ با ویژگی‌های کیفی از قبیل عیب‌های حسی، تغذیه‌ای و بصری یا غیربصری به کنترل فوری این عیوب کمک نمود. مختصه‌های *L، *a و *b هانترلب به طور معمول در صنعت مواد غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرند. هم‌چنین می‌توان بزرگی تفاوت رنگ بین نمونه‌های فرآوری شده و شاهد را با معیار اختلاف رنگ کلی (ΔE) بیان نمود. تفاوت‌ها در رنگ قابل درک را می‌توان به صورت تجزیه‌ای به صورت بسیار مشخص ($\Delta E>3$)، مشخص ($1/5<\Delta E<3$) و اختلاف کم ($\Delta E<1/5$) طبقه‌بندی کرد [۱۹].

با توجه به جدول ۳ پرتودهی آب انار در دزهای ° تا ۳ کیلوگری تفاوت معنی‌داری ($p<0/01$) را در عامل‌های رنگ هانترلب در نمونه‌های رقم آلک ساوه سبب شد (به دلیل مشاهده‌ی روند تغییرات مشابه، نتایج مربوط به آب انار رقم ملس ممتاز ساوه نشان داده نشده است). مقدار *L در نمونه‌های آب انار در اثر پرتودهی در مقایسه با نمونه‌های شاهد به صورت معنی‌داری افزایش یافت، در حالی‌که مقادیر *a و *b به صورت معنی‌داری کاهش یافتند. روند تغییر این سه عامل سنجش رنگ با هانترلب، ارتباط مستقیمی با شدت دز پرتودهی داشت. این تغییرها در عامل‌های رنگ هانترلب بیان‌گر این است که رنگ آب انار روشن‌تر شده بود. در مقابل، مقدار *L ارتباط نزدیکی با قهوه‌ای شدن آب میوه دارد که منجر به تیره شدن رنگ می‌شود. کروما نیز در ارتباط با کم رنگ شدن رنگ نمونه‌های آب انار، بعد از پرتودهی، به صورت معنی‌داری کاهش یافت. هم‌چنین در این مطالعه، ΔE با افزایش دز پرتو افزایش یافت و چون $\Delta E>3$ بود تفاوت در رنگ قابل درک بسیار محسوس و مشخص بود. از طرفی میزان تغییر عامل‌های رنگی هانترلب در آب انارهای دانه‌های انار بیش‌تر از آب انارهای میوه‌ی کامل انار بود. در این راستا، کاهش مقادیر رنگ نمونه‌های پرتودهی شده‌ی آب میوه‌ی تمر هندی [۶] و چای سبزِ تازه [۳۰]، و بهبود رنگ نمونه‌های پرتودهی شده‌ی عصاره‌ی زردچوبه گزارش شده است [۳۷]. مقدار *L در نمونه‌های تازه و نگه‌داری شده‌ی آب میوه‌ی تمر هندی در اثر پرتودهی به صورت معنی‌داری افزایش یافت، در حالی‌که مقادیر *a و *b به صورت معنی‌داری کاهش یافتند که این آخری بیان‌گر روشن‌تر شدن رنگ آب میوه‌ی تمر هندی است [۶]. نتایج حاصل از مطالعه‌ی حاضر با پژوهش انجام شده با نکتار کیوی در دزهای °، ۰/۵، ۱/۰ و ۲/۰ کیلوگری، که تغییر معنی‌داری در عامل‌های رنگ نمونه ایجاد نکرد [۲۱]، مطابقت نداشت.

رنگ بسپاری که بیان‌گر تانن‌های بسپاری مقاوم نسبت به رنگ‌بری با بی‌سولفیت است در اثر پرتودهی آب میوه‌های حاصل از دانه‌ی انار آلک ساوه و ملس ممتاز ساوه تحت تأثیر قرار نگرفت، در حالی‌که تغییر در آب میوه‌های انار کامل معنی‌داری بود. هم‌چنین چگالی رنگ کل که بیان‌گر میزان جذب ترکیب‌های قهوه‌ای رنگ آب انار فرآوری شده است در آب انارهای پرتودهی شده نسبت به نمونه‌ی شاهد تفاوت معنی‌داری نشان داد. مقدار این دو عامل در آب انارهای میوه‌ی کامل انار بیش‌تر از آب انارهای دانه‌های انار بود؛ این امر به دلیل ورود تانن‌ها و ترکیب‌های فنولی مختلف از پوست میوه به آب انار است. براساس نتایج به دست آمده، چگالی رنگ کل و رنگ بسپاری روند کاهشی نشان دادند. افزایش دز تابش گاما منجر به کاهش قابل‌توجه چگالی رنگ کل و کاهش نسبتاً کمِ رنگ بسپاری آب انارها شد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳. تأثیر پرتو بر عامل‌های رنگ ارزیابی شده با هانترلب و طیف‌سنج نوری در آب انارهای مورد مطالعه*

آب انار	دز گاما (kGy)	L*	a*	b*	Chroma**	ΔE	TCD	PC***
	۰	۲۳٫۲۵±۰٫۱۷c	۴۴٫۵۳±۰٫۶۰a	۳۵٫۹۴±۰٫۲۸a	۵۷٫۲۲±۰٫۶۴ab	۰٫۰۰ e	۲٫۸۵±۰٫۲۲ab	۰٫۸۳±۰٫۱۳a**
	۰٫۵	۲۴٫۱۲±۱٫۵۱c	۴۵٫۲۲±۰٫۵۴a	۳۷٫۴۳±۰٫۳۲a	۵۸٫۷۰±۰٫۶۲a	۲٫۳۷±۰٫۴۸d	۲٫۸۹±۰٫۰۹a	۰٫۸۴±۰٫۰۶a
	۱	۲۵٫۰۳±۰٫۹bc	۴۳٫۶۲±۱٫۲۵ab	۳۹٫۰۱±۰٫۸۴a	۵۸٫۵۳±۰٫۸۸ab	۳٫۹۱±۰٫۵۶d	۲٫۵۴±۰٫۰۷ab	۰٫۸۳±۰٫۴۴a
دانه‌ی انار آلک ساوه	۱٫۵	۲۶٫۱۷±۱٫۲۱bc	۴۱٫۴۶±۰٫۷۸bc	۳۷٫۱۰±۰٫۹۳a	۵۵٫۶۴±۱٫۲۰b	۴٫۶۱±۱٫۲۶cd	۲٫۴۴±۰٫۱۰b	۰٫۸۰±۰٫۰۳a
	۲	۲۶٫۴۵±۱٫۰۶bc	۳۸٫۸۳±۱٫۲۰c	۳۱٫۲۹±۱٫۱۴b	۴۹٫۸۷±۱٫۳۵c	۸٫۱۲±۰٫۸۵c	۱٫۷۶±۰٫۱۱c	۰٫۷۹±۰٫۰۲a
	۲٫۵	۲۸٫۳۰±۰٫۹۱b	۳۵٫۲۴±۰٫۳۶d	۲۷٫۰۹±۲٫۰۰c	۴۴٫۴۶±۱٫۵۰d	۱۳٫۸۱±۲٫۳۷b	۱٫۵۴±۰٫۰۳cd	۰٫۷۵±۰٫۰۸a
	۳	۳۳٫۷۴±۰٫۲۵a	۳۱٫۹۲±۰٫۶۰e	۲۳٫۵۵±۰٫۹۳c	۳۹٫۶۷±۰٫۶۹e	۲۰٫۵۷±۰٫۳۶a	۱٫۱۳±۰٫۱۲d	۰٫۶۲±۰٫۰۹a
	۰	۲۰٫۴۳±۰٫۱۵d	۴۴٫۸۶±۰٫۰۷a	۴۰٫۰۸±۰٫۲۷a	۶۰٫۱۶±۰٫۱۳a	۰٫۰۰±۰٫۰۰e	۳٫۲۳±۰٫۲۵a	۱٫۵۵±۰٫۰۸a
	۰٫۵	۲۰٫۴۹±۰٫۴۳d	۴۴٫۰۶±۰٫۸۸a	۴۰٫۱۷±۰٫۵۱a	۵۹٫۶۳±۰٫۴۵a	۱٫۰۹±۰٫۲۳de	۳٫۱۵±۰٫۰۹a	۱٫۵۴±۰٫۰۳a
	۱	۲۱٫۳۶±۰٫۰۱cd	۴۲٫۴۴±۰٫۹۶ab	۳۹٫۶۷±۰٫۹۰ab	۵۸٫۱۰±۱٫۱۶a	۲٫۷۱±۰٫۴۴d	۲٫۹۷±۰٫۱۷a	۱٫۵۳±۰٫۶۷ab
میوه‌ی کامل آلک ساوه	۱٫۵	۲۲٫۲۷±۰٫۷۲bc	۴۰٫۵۸±۰٫۶۰bc	۳۶٫۹۲±۰٫۷۰bc	۵۴٫۸۶±۰٫۸۲b	۵٫۷۲±۰٫۵۸c	۲٫۴۶±۰٫۰۷b	۱٫۴۶±۰٫۰۳ab
	۲	۲۲٫۸۴±۰٫۲۱b	۳۸٫۱۰±۱٫۰۸cd	۳۵٫۴۹±۱٫۳۷c	۵۲٫۰۹±۰٫۱۴c	۸٫۶۰±۰٫۲۳b	۲٫۲۱±۰٫۰۰bc	۱٫۴۳±۰٫۰۵ab
	۲٫۵	۲۳٫۵۵±۰٫۱۲b	۳۶٫۴۹±۰٫۹۵de	۳۴٫۴۳±۱٫۰۰cd	۵۰٫۱۷±۱٫۳۶c	۱۰٫۵۸±۱٫۲۰b	۲٫۰۰±۰٫۰۷c	۱٫۳۳±۰٫۰۹bc
	۳	۲۵٫۸۹±۰٫۶۳a	۳۴٫۶۲±۰٫۴۰e	۳۲٫۵۷±۰٫۳۰d	۴۷٫۵۴±۰٫۲۱ d	۱۳٫۸۳±۰٫۳۸a	۱٫۶۳±۰٫۰۸d	۱٫۱۹±۰٫۱۳c

* داده‌ها، میانگین سه تکرار ± انحراف میعار هستند.

** علایم مختلف (a-e) در هر ستون بیان‌گر تفاوت معنی‌دار در سطح ۰٫۰۱ درصد هستند (آزمون توکی).

*** علایم ΔE، TCD، PC، به ترتیب، بیان‌گر اختلاف رنگ کلی، چگالی رنگ کل و رنگ بسپاری نمونه‌های انار هستند.

٤. نتیجه‌گیری

براساس نتایج به دست آمده مشخص شد که پرتودهی آب انار با پرتو گاما در محدوده‌ی دز ۰ تا ۳ کیلوگری سبب تغییر معنی‌دار pH، قدرت اسیدی کل، بریکس و مقدار ترکیب‌های فنولی کل و خاصیت ضداکسایشی نمونه‌ها نشد. ولی مقدار آنتوسیانین کل کاهش معنی‌داری را نشان داد. هم‌چنین عامل‌های رنگی مورد ارزیابی گرفته با هانترلب، تغییرات معنی‌داری را نشان دادند به طوری‌که می‌توان گفت پرتودهی سبب افزایش مقدار L* و کاهش a* و b* در نمونه‌های آب انار در مقایسه با نمونه‌های شاهد شد. به علاوه، افزایش دز پرتو گاما منجر به کاهش قابل‌توجه چگالی رنگ کل و کاهش نسبتاً کم رنگ بسپاری آب انارها شد.

پی‌نوشت‌ها

۱. Punica Granatom L.

۲. Punicacea

۳. Health Promoting Effects

۴. Functional Compounds

۵. E. Coli O157:H7

۶. Antioxidant Activity

۷. 2,20-Azinobis (3-Ethylbenzothiazoline-6-Sulfonic Acid)

۸. 1,1-Dipheny1-2-Picrylhydrazyl

۹. 2,4,6-Tripyridyl-S-Triazine

۱۰. Rankem

۱۱. Folin-Ciocalteu

۱۲. Ellagic and Gallic Acid Polymers

۱۳. Procyanidin

۱۴. Synergistic Protection

Archive of SID

www.SID.ir

مرجع‌ها

1. Codex Alimentarius Commission, Project document for a regional standard for pomegranate, FAO/WHO, Tunisia (2009).

2. H. E. Uljas, S. C. Ingham, Combinations of intervention treatments resulting in 5-log10-unit reductions in numbers of Escherichia coli O157: H7 and Salmonella typhimurium DT104 organisms in apple cider, Applied and Environmental Microbiology, 65(5) (1999) 1924-1929.

3. V. H. Tournas, J. Heeres, L. Burgess, Moulds and yeasts in fruit salads and fruit juices, Food Microbiology, 23 (2006) 684-688.

4. GAO, Food irradiation: FDA could improve its documentation and communication of key decisions on food irradiation petitions, Washington, D. C. GAO-10-309R (2010).

5. M. N. C. Harder, V. Arthur, The Effects of Gamma Radiation in Nectar of Kiwifruit (Actinidia deliciosa), In: Feriz Adrovic, Gamma Radiation. Publisher: InTech, Rijeka, Croatia, Brazil (2012).

6. J. W. Lee, J. K. Kim, P. Srinivasan, J. Choi, J. H. Kim, S. B. Han, D. J. Kimc, M. W. Byun, Effect of gamma irradiation on microbial analysis, antioxidant activity, sugar content and color of ready-to-use tamarind juice during storage, LWT-Food Science and Technology, 42 (2009) 101-105.

7. H. Alighourchi, M. Barzegar, S. Abbasi, Effect of gamma irradiation on the stability of anthocyanins and shelf-life of various pomegranate juices, Food Chemistry, 110 (2008) 1036-1040.

8. K. Chachin, K. Ogata, Changes of chemical constituents and quality in some juice irradiated with the sterilizing dose level of gamma rays, Food Irradiation, 4 (1969) 85–90.

9. B. A. Niemira, L. Deschênes, Ionizing Radiation Processing of Fruits and Fruit Products, In Barrett, D. M. Somogyi, L. and Ramaswamy H. Processing Fruits: Science and Technology: CRC Press, Florida, (2004).

10. H. P. Song, M. W. Byun, C. Jo, C. H. Lee, K. S. Kim, D. H. Kim, Effects of gamma irradiation on the microbiological, nutritional, and sensory properties of fresh vegetable juice, Food Control, 18 (2007) 5-10.

11. D. Foley, K. Pickett, J. Varon, J. Lee, D. Mln, R. Caporaso, A. Prakash, Pasteurization of fresh orange juice using gamma irradiation: microbiological, flavor, and sensory analyses, Journal of Food Science, 67 (2002) 1495-1501.

12. M. Spoto, R. Domarco, J. Walder, R. Hoekstra, R. Andrade, Preservation of concentrated orange juice by gamma radiation, Boletim-da-Sociedade-Brasileira-de-Ciencia-e-Technologia-de-Alimentos, 27 (1993) 96-104.

13. H. Alighourchi, M. Barzegar, Some physicochemical characteristics and degradation kinetic of anthocyanin of reconstituted pomegranate juice during storage, Journal of Food Engineering, 90 (2009) 179-185.

14. F. Tezcan, M. Gültekin-Özgüven, T. Diken, B. Özçelik, F. B. Erim, Antioxidant activity and total phenolic, organic acid and sugar content in commercial pomegranate juices, Food Chemistry, 115 (2009) 873-877.

15. R. E. Wrolstad, R. W. Durst, J. Lee, Tracking color and pigment changes in anthocyanin products, Trends in Food Science and Technology, 16 (2005) 423-428.

16. G. Ferrari, P. Maresca, R. Ciccarone, The application of high hydrostatic pressure for the stabilization of functional foods: Pomegranate juice, Journal of Food Engineering, 100 (2010) 245-253.

17. M. Çam, Y. Hışıl, G. Durmaz, Classification of eight pomegranate juices based on antioxidant capacity measured by four methods, Food Chemistry, 112 (2009) 721-726.

18. A. O. Adekunte, B. K. Tiwari, P. J. Cullen, A. G. M. Scannell, C. P. O'Donnell, Effect of sonication on colour, ascorbic acid and yeast inactivation in tomato juice, Food Chemistry, 122 (2010) 500-507.

Archive of SID

www.SID.ir

19.P. B. Pathare, U. L. Opara, F. A. J. Al-Said, Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: A Review, Food and Bioprocess Technology, (2012) 1-25.

20.A. C. Chang, The effects of gamma irradiation on rice wine maturation, Food Chemistry, 83 (2003) 323-327.

21.M. Harder, T. De Toledo, A. Ferreira, V. Arthur, Determination of changes induced by gamma radiation in nectar of kiwi fruit (Actinidia deliciosa), Radiation Physics and Chemistry, 78 (2009) 579-582.

22.H. Alighourchi, M. Barzegar, S. Abbasi, Anthocyanins characterization of 15 Iranian pomegranate (Punica granatum L.) varieties and their variation after cold storage and pasteurization, European Food Research and Technology, 227 (2008) 881-887.

23.M. I. Gil, F. A. Tomás-Barberán, B. Hess-Pierce, D. M. Holcroft, A. A. Kader, Antioxidant activity of pomegranate juice and its relationship with phenolic composition and processing, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 48 (2000) 4581-4589.

24.K. Harrison, L. Were, Effect of gamma irradiation on total phenolic content yield and antioxidant capacity of almond skin extracts, Food Chemistry, 102 (2007) 932-937.

25.M. Schindler, S. Solar, G. Sontag, Phenolic compounds in tomatoes, Natural variations and effect of gamma-irradiation, European Food Research and Technology, 221 (2005) 439-445.

26.H. J. Ahn, J. H. Kim, J. K. Kim, D. H. Kim, H. S. Yook, M. W. Byun, Combined effects of irradiation and modified atmosphere packaging on minimally processed Chinese cabbage (Brassica rapa L.), Food Chemistry, 89 (2005) 589-597.

27.S. T. Talcott, C. H. Brenes, D. M. Pires, D. Del Pozo-Insfran, Phytochemical stability and color retention of copigmented and processed muscadine grape juice, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 51 (2003) 957-963.

28.N. Ayed, H. L. Yu, M. Lacroix, Improvement of anthocyanin yield and shelf-life extension of grape pomace by gamma irradiation, Food Research International, 32 (1999) 539-543.

29.F. Zhu, Y. Z. Cai, J. Bao, H. Corke, Effect of γ-irradiation on phenolic compounds in rice grain, Food Chemistry, 120 (2010) 74-77.

30.C. Jo, J. H. Son, H. J. Lee, M. W. Byun, Irradiation application for color removal and purification of green tea leaves extract, Radiation Physics and Chemistry, 66 (2003) 179-184.

31.M. Suhaj, J. Rácová, M. Polovka, V. Brezová, Effect of γ-irradiation on antioxidant activity of black pepper (Piper nigrum L.), Food Chemistry, 97 (2006) 696-704.

32.G. Cao, E. Sofic, L. Ronald, Antioxidant capacity of tea and common vegetables, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 44 (1996) 3426-3431.

33.D. Kilcast, Effect of irradiation on vitamins, Food Chemistry, 49 (1994) 157-164.

34.H. P. Song, D. H. Kim, C. Jo, C. H. Lee, K. S. Kim, M. W. Byun, Effect of gamma irradiation on the microbiological quality and antioxidant activity of fresh vegetable juice, Food Microbiology, 23 (2006) 372-378.

35.M. A. Murcia, I. Egea, F. Romojaro, P. Parras, A. M. Jiménez, M. Martínez-Tomé, Antioxidant evaluation in dessert spices compared with common food additives, Influence of irradiation procedure, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 52 (2004) 1872-1881.

36.N. Y. Lee, C. Jo, S. H. Sohn, J. K. Kim, M. W. Byun, Effects of gamma irradiation on the biological activity of green tea byproduct extracts and a comparison with green tea leaf extracts, Journal of Food Science, 71 (2006) C269-C274.

37.J. K. Kim, C. Jo, H. J. Hwang, H. J. Park, Y. J. Kim, M. W. Byun, Color improvement by irradiation of Curcuma aromatica extract for industrial application, Radiation Physics and Chemistry, 75 (2006) 449-452.

Archive of SID

www.SID.ir