Archive of SID

مقاله علمی پژوهشی/ نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی/ جلد ۲۹ شماره ۲/ سال ۱۳۹۸/ صفحات ۹۷ تا ۱۰۸

تاثیر پلاستی‌سایزرهای مختلف بر قهوه‌ای‌شدگی و ساختار میکروسکوپی انجیر نیمه‌مرطوب رقم سبز استهبان

فوژان بدیعی[1*]، ندا مفتون‌آزاد[2] ، صغری معدنی[3] و مریم شاه‌امیریان[4]

تاریخ دریافت: ۹۷/۱/۲۲ تاریخ پذیرش: ۹۷/٤/۱۹

[1] دانشیار پژوهش موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

[2] دانشیار پژوهش بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

[3] محقق موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

[4] مربی‌پژوهش بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

*نویسنده مسئول: Email: f.badii@areeo.ac.ir

چکیده

زمینه مطالعاتی: قهوه‌ای‌شدگی انجیر از جمله تغییرات بیوشیمیایی وابسته به دمای انتقال شیشه‌ای است. **هدف:** هدف از انجام این مطالعه بررسی امکان تولید انجیر نیمه‌مرطوب با افزودن پلاستی‌سایزرها و تاثیر آن بر سرعت قهوه‌ای‌شدگی و پایداری آن بوده‌است. **روش کار:** برای این منظور انجیرهای نیمه‌مرطوب توسط پلاستی‌سایزرهای شربت ساکارز، شربت گلوکز و گلیسرول در غلظت‌های ۲۵ و ۵۰ درصد آماده و پس از خروج نمونه‌ها از محلول، در ظروف پلاستیکی غیرقابل نفوذ به هوا بسته‌بندی‌شده و در سه سطح دمایی ۵، ۲۵ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. خواص حرارتی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه گرماسنج پویشی تفاضلی (DSC) اندازه‌گیری شد. **نتایج:** نتایج اندازه‌گیری دمای انتقال شیشه‌ای (T_g) نشان داد که نمونه انجیر آبدارشده (شاهد) دمای انتقال شیشه‌ای کمتری نسبت به سایر نمونه‌ها دارد. در ادامه پس از سه ماه، میزان قهوه‌ای‌شدگی نمونه‌ها مطالعه‌شد. شاخص قهوه‌ای‌شدگی انجیر در این مدت در تمام نمونه‌ها و شاهد به‌تدریج افزایش‌یافت. افزایش دمای نگهداری نیز در تمام تیمارها باعث افزایش روند قهوه‌ای‌شدگی نمونه‌ها شد. شاخص قهوه‌ای‌شدگی انجیر شاهد افزایش معنی‌داری نسبت به سایر نمونه‌ها نشان‌داد و رنگ تیره‌تری نسبت به نمونه-های تیمارشده با پلاستی‌سایزرها داشت. در پایان با استفاده از پارامتر دمای جابه‌جایی ($T-T_g$) تغییرات شاخص قهوه-ای‌شدگی انجیر بررسی‌شد، صرفنظر از اینکه دمای نگهداری (T) یا پلاستی‌سایزر (که روی T_g اثر می‌گذارد) تغییرکند. **نتیجه‌گیری نهایی:** به‌طور کلی نتایج حاصل از این پژوهش نشان‌داد که شربت گلوکز ۵۰ درصد و شربت ساکارز ۵۰ درصد در کنترل تیرگی و قهوه‌ای‌شدگی انجیر موثرتر از سایر تیمارها هستند.

واژگان کلیدی: انجیر، پلاستی‌سایزر، دمای انتقال شیشه‌ای، دمای جابه‌جایی، شاخص قهوه‌ای‌شدگی

www.SID.ir

Archive of SID

قدمه

انجیر میوه‌ای بسیار مغذی است و حاوی کربوهیدرات بالا، مواد معدنی، اسیدهای‌آمینه ضروری و ویتامین‌های A, B_1, B_2, C است (انصاری و همکاران ۲۰۱۵ و دوینـاز ۲۰۰۵). مقدار قندها و ویتامین‌های آن تقریبا مشابه خرما است (فرحناکی و همکاران ۲۰۰۹). طبق آمار سازمان خواربار جهانی[۱] تولید انجیر در ایران در سال ۲۰۱۷، با ٥٤٢٠٠ هکتار سطح زیر کشت، ۷۰۷۳۰ تن بوده‌است (فائو ۲۰۱۹). استان فارس، نخستین تولیدکننده انجیر در ایران است. این میوه یکی از اقلام مهم صادراتی کشور محسوب می‌شود و به ویژه انجیر منطقه استهبان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و محصول انجیر خشک این منطقه عمدتاً به خارج صادر می‌شود. لذا بهبود کیفیت و رفع مشکلات این محصول جهت افزایش صادرات انجیر اهمیت ویژه‌ای دارد. این میوه به‌صورت تازه و یا خشک مصرف می‌شود. انجیر تازه میوه‌ای بسیار فسادپذیر است و عمر انباری بسیار کوتاهی حتی در دمای یخچال دارد که به‌دلیل مقدار قند و رطوبت زیاد آن است، بنابراین بیشتر به‌صورت خشک استفاده می‌شود (فرحناکی و همکاران ۲۰۰۹ و فرامرزی و همکاران ۱۳۹٦). گرچه خشک‌کردن روشی مناسب برای افزایش ماندگاری انجیر می‌باشد، افزایش محتوای رطوبتی آن و تولید انجیر نیمه‌مرطوب موجب افزایش بازارپسندی این محصول می‌شود. البته به‌دلیل افزایش فعالیت آبی، انجیرهای نیمه‌مرطوب ماندگاری کوتاهی داشته و در مدت زمان کوتاهی دچار فساد فیزیکی، شیمیایی و یا میکروبی می‌شوند، به‌طوریکه پس از گذشت چند ماه رنگ آن‌ها به قهوه‌ای تیره تبدیل می‌شود. این مسأله باعث ضایع‌شدن محصول، کاهش بازارپسندی و پذیرش توسط کشورهای واردکننده آن می‌شود (انصاری و همکاران ۱۳۹٦). با توجه به اهمیتی که این محصول از لحاظ صادرات و ایجاد درآمد برای باغداران منطقه استهبان دارد، افزایش کیفیت محصول و جلوگیری از قهوه‌ای‌شدگی آن کمک شایانی به اقتصاد تولیدکنندگان انجیر و افزایش صادرات آن می‌نماید.

بسیاری از موادغذایی در هنگام فرآوری و نگهداری دچار قهوه‌ای‌شدگی می‌شوند. قهوه‌ای‌شدگی میوه‌ها و سبزی‌های خشک و نیمه‌خشک با رطوبت بینابینی باعث افت خواص حسی (تغییر رنگ و طعم) و افت ارزش تغذیه‌ای آن‌ها می‌شود. مکانیسم قهوه‌ای‌شدگی موادغذایی به‌دوصورت آنزیمی و غیرآنزیمی است. پلی-فنل‌اکسیداز[۲](PPO) مهم‌ترین آنزیم عامل قهوه‌ای‌شدگی آنزیمی در موادغذایی است (جیانگ و همکاران ۲۰۱٦) و در بسیاری از میوه‌ها رابطه نزدیکی بین پتانسیل قهوه-ای‌شدگی با فعالیتPPO وجود دارد. ازطرفی تخریب اکسایشی و غیراکسایشی اسیدآسکوربیک و واکنش میلارد به‌عنوان قهوه‌ای‌شدگی غیرآنزیمی نیز نقش مهمی در تغییر رنگ بسیاری از موادغذایی و ازجمله میوه‌های خشک بازی می‌کنند (یامادا و همکاران ۲۰۰۹). در پژوهشی اثر تیمارهای شیمیایی مختلف مانند کلریدکلسیم، اسیدسیتریک، سیستئین و متابی‌سولفیت-سدیم در غلظت‌های مختلف بر میزان قهوه‌ای‌شدگی انجیر نیمه‌مرطوب (پرسی) رقم سبز استهبان بررسی شد. نتایج این پژوهش نشان‌داد که از میان تیمارهای فوق، فقط سیستئین اثر مشخص و معنی‌داری بر کاهش قهوه‌ای‌شدگی انجیر ندارد و سایر تیمارهای شیمیایی نظیر کلریدکلسیم و اسیدسیتریک به‌طور معنی‌داری می-توانند سرعت قهوه‌ای‌شدگی انجیر را کاهش‌دهند. ازطرفی استفاده از حرارت مناسب به‌منظور غیرفعال-ساختن آنزیم‌های پلی‌فنل‌اکسیداز می‌توانند در به‌تعویق-انداختن و کاهش میزان قهوه‌ای‌شدگی نمونه‌های انجیر نیمه‌مرطوب، موثر باشند (فرجی و همکاران ۱۳۹٤). انصاری و همکاران(۱۳۹٦) نشان‌دادند که رابطه مستقیمی میان شاخص قهوه‌ای‌شدگی و میزان تشکیل

[۱] FAO

[۲] Polyphenol oxidase (PPO)

www.SID.ir

Archive of SID

هیدروکسی‌متیل‌فورفورال در انجیر نیمه‌مرطوب وجود دارد (انصاری و همکاران ۱۳۹۶).

دمای انتقال شیشه‌ای[۱] (T_g) سیستم‌های غذایی آمورف، تغییرات ساختمانی و بافتی مواد غذایی را کنترل می‌کند و بر سرعت واکنش‌های شیمیایی و آنزیمی تاثیر می‌گذارد. دمای انتقال شیشه‌ای از نظر علمی و تجاری بسیار مهم است زیرا بسیاری از واکنش‌های بیوشیمیایی مخرب که باعث کاهش ماندگاری و پایداری محصولات غذایی خشک و نیمه‌خشک می‌شوند وابسته به دمای انتقال شیشه‌ای بوده و در شرایط بالاتر از T_g در موادغذایی مشاهده می‌شوند. مثال‌هایی از این تغییرات وابسته به T_gعبارتند از: چسبندگی و کیکی شدن پودرها و مواد حاوی قندها، تبلور قندهای آمورف، تبلور مجدد نشاسته ژلاتینه شده، از هم‌پاشیدگی مواد خشک، و تاحدودی واکنشهای قهوه‌ای‌شدگی غیرآنزیمی میلارد و واکنش‌های آنزیمی که در محصولات غذایی با رطوبت بینابینی باسرعت بیشتری مشاهده می‌شوند (چمپیون و همکاران ۲۰۰۰، لواین و اسلید ۱۹۸۶ و روز ۲۰۰۳).

آب مهم‌ترین و قوی‌ترین پلاستی‌سایزر برای سیستم‌های غذایی است و دمای انتقال شیشه‌ای را کاهش می‌دهد (روز ۲۰۰۳)، برخی دیگر از مولکول های کوچک نظیر پلی‌ال‌ها و ترکیبات قندی نیز می‌توانند به‌عنوان پلاستی‌سایزر عمل کنند. در رابطه با سرعت واکنش میلارد، فعالیت آبی غذا نقش بسیار مهمی دارد. بین فعالیت آبی ۰/۶ تا ۰/۷ واکنش میلارد با بیشترین سرعت رخ می‌دهد و در مقادیر فعالیت آبی بالاتر و پایین‌تراز این محدوده سرعت واکنش کاهش می‌یابد. بنابراین کنترل فعالیت آبی روشی موثر در به‌حداقل رساندن قهوه‌ای‌شدگی غیرآنزیمی است (روز ۲۰۰۳). یکی از راه‌های کنترل فعالیت آبی استفاده از مواد جاذب رطوبت و همچنین پلاستی‌سایزرها می‌باشد. پلاستی‌سایزرهای معمول در سیستم غذایی شامل منوساکاریدها، دی ساکاریدها یا الیگوساکاریدها (مانند شربت گلوکز، شربت ساکاروز و عسل)، پلی‌ال‌ها (نظیر گلیسرول، سوربیتول، مشتقات گلیسرول و گلیکوپلی‌اتیلن) و چربی‌ها و مشتقات آنها (نظیر فسفولیپیدها، اسیدهای چرب و مواد فعال سطحی) می‌باشند (فرحناکی و همکاران ۲۰۰۹). انصاری و همکاران (۱۳۸۸) نشان دادند که افزودن پلاستی‌سایزرهای گلیسرول و شربت گلوکز، تبلور قندها در انجیر خشک را کاهش می‌دهند. گلیسرول نسبت به شربت گلوکز در کاهش تبلور قندها موثرتر است زیرا توانایی جذب‌رطوبت[۲] بیشتری دارد (انصاری و همکاران ۱۳۸۸). باتوجه به اثر پلاستی‌سایزرها بر دمای انتقال شیشه‌ای مواد غذایی، هدف از انجام این پژوهش بررسی اثر پلاستی‌سایزرها در دماهای مختلف نگهداری بر کاهش واکنش‌های قهوه‌ای‌شدگی انجیر نیمه‌مرطوب بوده‌است.

مواد و روش‌ها

انجیر خشک (رقم سبز) از منطقه استهبان فارس (۱۷۳۱ متر ارتفاع از سطح دریا، ۲۹ درجه و ۳۲ دقیقه عرض شمالی و ٥٤ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی) با رطوبت اولیه ۸ درصد تهیه و در کیسه‌های پلی‌اتیلنی با ضخامت ۷٦میکرومتر بسته‌بندی و در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد تا زمان آزمایش نگهداری‌شد. روش نمونه‌گیری به شیوه تصادفی چندمرحله‌ای از یک بهر با ویژگی‌های معین انجام‌شد. بهر موردنظر انجیر خشک رقم سبز منطقه استهبان برداشت‌شده در یک سال واحد و اندازه نمونه‌ها حدود ۲۰۰ گرم بود. انجیرخشک به‌مدت ۲۰ دقیقه و در دمای محیط در محلول‌های ۲۵ و ۵۰ درصد گلیسرول، ۲۵ و ۵۰ درصد شربت گلوکز، ۲۵ و ۵۰ درصد شربت ساکارز غوطه‌ورشد. نمونه کنترل نیز به‌مدت ۲۰دقیقه در آب خیسانده شده و پس از خروج نمونه‌ها از محلول، در ظروف پلاستیکی غیرقابل‌نفوذ به

[۱] Glass transition temperature (T_g)

[۲] Hygroscopic

www.SID.ir

Archive of SID

هوا بسته‌بندی شده و در سه سطح دمایی ۵، ۲۵ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۳ماه نگهداری‌شدند. رطوبت نمونه‌های انجیر با خشک‌کردن آن‌ها در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت به‌دست‌آمد و آزمون‌های زیر روی نمونه‌های تیمارشده انجیر و نمونه شاهد انجام‌شد.

خصوصیات حرارتی محصول

دمای انتقال شیشه‌ای (T_g) نمونه‌ها با استفاده از دستگاه گرماسنج پویشی تفاضلی[۱] DSC1 مدل MettlerToledo (ساخت کشور سوئیس) مجهز به سیستم سردکننده جهت حفظ دمای آزمایش، اندازه‌گیری‌شد. قبل از انجام آزمایش دستگاه از نظر دما و آنتالپی با ایندیوم ($T_{m,onset}$=156.6 °C, ΔH=28.45 J/g) کالیبره‌شد. برای انجام آزمایش حدود ۵ میلی‌گرم نمونه در ظروف کوچک DSC از جنس آلومینیوم پر و کاملا دربندی‌شد. سپس نمونه‌ها تا ۸۰- درجه سرد و سپس تا ۱۵۰ درجه با سرعت ۱۰ °C/min گرم‌شدند. از ظروف کوچک خالی DSC از جنس آلومینیوم به‌عنوان مرجع استفاده‌شد. T_g براساس نقطه میانی تغییر پله‌ای ظرفیت گرمایی ویژه نمونه طی حرارت‌دهی توسط نرم‌افزار STARe system تعیین و گزارش‌شد (بدیعی و همکاران ۲۰۱٤).

اندازه گیری رنگ نمونه‌ها

رنگ نمونه‌ها با استفاده از دستگاه رنگ‌سنج مدل Konica Minolta CR-400 / 410 ساخت ژاپن به‌صورت عددی L* ، a* و b* (به‌ترتیب از سفید–سیاهی، سبز به قرمز و آبی به زرد) تعیین و بااستفاده از رابطه ۱ شاخص قهوه‌ای‌شدگی محاسبه‌شد (صحرایی خوش-گردش و همکاران ۲۰۱٦).

[۱]

$$BI = \frac{[100(x-0.31)]}{0.17}$$

که x از رابطه ۲ به‌دست می‌آید: [۲]

$$x = \frac{(a^* + 1.75L^*)}{(5.645L^* + a^* - 3.012b^*)}$$

در ادامه، برای توضیح روند تغییرات شدت قهوه‌ای-شدگی نمونه‌ها از فاکتور دمای جابه‌جایی ($T-T_g$) استفاده‌شد. صرفه‌نظر از اینکه دمای نگهداری (T) یا نوع و میزان پلاستی‌سایزر (که روی T_g اثر می‌گذارد) تغییرکند، روند تغییر شاخص قهوه‌ای‌شدگی بررسی‌شد (لیوونن و روز ۲۰۰۲).

بررسی ساختار میکروسکوپی

ساختار میکروسکوپی انجیرهای شاهد و تیمارشده با پلاستی‌سایزرهای مختلف با استفاده از میکروسکوپ الکترونی از نوع SEM[۲] (مدل XL30 ESEM، شرکت فیلیپس) تحت شرایط خلأ بالا، ولتاژ افزایشی ۲۰ کیلوولت و فاصله کاری ۹/۵ – ۷/۵ میلی‌متر (فاصله میان سطح نمونه و لنز میکروسکوپ) بررسی‌شد. نمونه‌ها با استفاده از خشک‌کن انجمادی (مدل Operon, OPR-FDB-5503، ساخت کره‌جنوبی) خشک‌شدند و لایه نازکی از آنها روی هولدر[۳]آلومینیومی نمونه تثبیت و با یک لایه طلا پوشانده‌شد (انصاری و همکاران ۲۰۱٤).

روش تجزیه و تحلیل آماری

اثر پلاستی‌سایزرهای مختلف و دمای نگهداری بر شاخص قهوه‌ای‌شدگی انجیر به‌طور مستقل از هم در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار بررسی‌شد و تجزیه واریانس یک‌طرفه داده‌های آزمایشی با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۱۹) به‌دست‌آمد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن با حداکثر خطای قابل قبول ۵ درصد ($P<0.05$) استفاده‌شد.

نتایج و بحث

جداول ۱ اثر پلاستی‌سایزرهای مختلف را بر شاخص قهوه‌ای‌شدگی (BI) انجیر در سه دمای ۵، ۲۵ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد نشان می‌دهد.

[۱] Differential Scanning Calorimetry (DSC)

[۲] Scanning Electron Microscopy

[۳] Sample holder

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۱- شاخص قهوه‌ای‌شدگی نمونه‌های انجیر نگهداری‌شده در سه دمای مختلف

Table 1- Browning index of different fig samples at different temperatures

Samples	5	25	35	F value
Control	101.63±2.4 bA	107.61±6.9bAB	126.93±6.1aA	17.32*
Glucose 25%	82.30±5.0 bC	88.99±5.0bC	105.54±4.8aDE	17.83*
Glucose 50%	74.77±4.1 bD	87.42±4.3aC	97.89±7.4aE	13.51*
Sucrose 25%	93.13±1.7 bB	101.34±5.8abAB	110.47±5.9aCD	9.54*
Sucrose 50%	80.83±4.0CD	96.44±5.7aBC	100.37±2.0aE	18.55*
Glycerol 25%	96.99±2.9AB	110.14±8.7aA	120.98±5.9aAB	10.56*
Glycerol 50%	95.22±5.1 bA	107.17±9.0 abAB	115.53±3.4aBC	8.18*
F value	36.65*	13.47*	34.79*	

Different capital letters in each column and different small letters in each row indicate statistical difference ($P<0.05$) between the values.

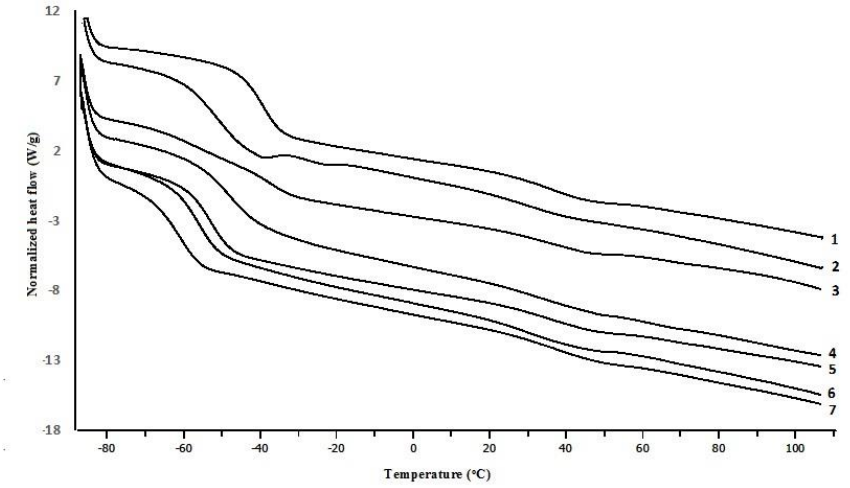
نتایج نشان‌داد که افزایش دمای نگهداری در تمام تیمارها باعث افزایش معنی‌دار روند قهوه‌ای‌شدگی و تیرگی نمونه‌ها می‌شود ($P<0.05$). به‌طوری‌که مطابق جدول۱، شدت قهوه‌ای‌شدگی در دمای ۵ درجه در نمونه شاهد و تمام تیمارها به‌طور معنی‌داری کمتر از سایر دماهای نگهداری است. سرعت واکنش‌های قهوه‌ای-شدگی آنزیمی و غیرآنزیمی با افزایش دمای نگهداری افزایش می‌یابد. دمای بهینه برای فعالیت آنزیم پلی‌فنل-اکسیداز در میوه‌های مختلف برابر یا بالاتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد است (جیانگ و همکاران ۲۰۱۶ و سیدیق و دولان ۲۰۱۷)، بنابراین دمای نگهداری ۳۵ درجه سانتی-گراد باعث افزایش فعالیت این آنزیم و درنتیجه افزایش شدت قهوه‌ای‌شدگی انجیر می‌شود. در مورد واکنش-های قهوه‌ای‌شدگی غیرآنزیمی نیز مانند سایر واکنش-های بیوشیمیایی افزایش دما باعث افزایش شدت واکنش می‌شود، به‌طوری‌که مشخص شده‌است شدت واکنش-های میلارد در دماهای بیش از ۳۰ درجه سانتی‌گراد افزایش قابل‌توجهی نشان‌می‌دهد (روفیان-هنارز و پاستوریزا ۲۰۱۶ و سوند و همکاران ۲۰۱۸). بنابراین ضروری‌است که انجیر نیمه‌مرطوب در دماهایی کمتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شود.

با مقایسه تیمارهای مختلف در یک دمای ثابت نگهداری نیز مشخص‌شد که اختلاف معنی‌داری میان شاخص قهوه‌ای‌شدگی تیمارهای مختلف و شاهد وجود دارد ($P<0.05$). همانطورکه در جدول ۱ ملاحظه می‌شود، درهر سه دمای نگهداری شاخص قهوه‌ای‌شدگی انجیر شاهد به‌طورمعنی‌داری بیشتر از سایر نمونه‌های تیمارشده با پلاستی‌سایزرها است. شاخص قهوه‌ای-شدگی در انجیر تیمارشده با گلیسرول ۲۵ درصد در هرسه دمای نگهداری تفاوت معنی‌داری با نمونه شاهد ندارد ولی در تمام پلاستی‌سایزرها با افزایش غلظت از ۲۵ به۵۰ درصد، به‌طور معنی‌داری شاخص قهوه‌ای-شدگی نمونه‌ها کاهش‌می‌یابد. این مساله نشان‌دهنده موثر واقع شدن افزودن پلاستی‌سایزرها در ممانعت از واکنش‌های قهوه‌ای‌شدگی است. پلاستی‌سایزرها نظیر پلی‌ال‌ها و قندها با حفظ رطوبت و کاهش فعالیت آبی در ماده غذایی باعث اصلاح و بهبود بافت موادغذایی با رطوبت بینابینی می‌شوند. این ترکیبات با کاهش دمای انتقال شیشه‌ای، شدت واکنش‌های قهوه‌ای‌شدگی را کاهش داده و پایداری محصول را افزایش می‌دهند (فرحناکی و همکاران ۲۰۰۹). بل (۱۹۹۶) نشان‌داد که حالت سیستم‌غذایی و یا به‌عبارتی دمای انتقال شیشه‌ای به‌طور معنی‌داری بر سرعت واکنش‌های قهوه‌ای‌شدگی غیرآنزیمی اثر می‌گذارد.

دمانگاشت‌های به‌دست آمده با DSC برای انجیرهای تیمارشده با پلاستی‌سایزرهای مختلف در شکل۱ نشان داده‌شده‌است. پدیده‌ای گرماگیر طی حرارت‌دهی در DSC مشاهده می‌شود. بخش بی‌شکل یا آمورف دچار انتقال شیشه‌ای شده و از حالت شیشه‌ای به لاستیکی تبدیل می‌شود که این انتقال به‌صورت تغییر پله‌ای در گرمای ویژه (C_p) مشخص می‌شود. این ویژگی در تمام نمونه‌ها مشاهده‌شده‌است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۱- دمانگاشت‌های DSC برای نمونه‌های انجیر (۱: ساکارز ۵۰ درصد، ۲: گلوکز ۵۰ درصد، ۳: گلیسرول ۵۰ درصد،۴: گلوکز۲۵ درصد، ۵: ساکارز۲۵ درصد، ۶: شاهد و ۷: گلیسرول۲۵ درصد)

Figure 1- DSC thermograms of fig samples (1: sucrose 50%, 2: glucose 50%, 3: glycerol 50%, 4: glucose 25%, 5: sucrose 25%, 6: control and 7: glycerol 25%)

در جدول ۲، دمای انتقال شیشه‌ای (T_g)، ظرفیت حرارتی (ΔC_p) و درصد رطوبت نمونه‌های انجیر با افزودن پلاستی‌سایزرهای مختلف نشان داده‌شده‌است. همانطوری‌که انتظار می‌رود نمونه انجیر آبدهی‌شده (شاهد) دمای انتقال شیشه‌ای کمتری نسبت به سایر نمونه‌ها دارد. زیرا آب موثرترین و قوی‌ترین پلاستی-سایزر برای سیستم‌های غذایی است و دمای انتقال شیشه‌ای را به‌شدت کاهش می‌دهد (روز ۲۰۰۳). با افزودن پلاستی‌سایزرهای مختلف درصد رطوبت انجیر نیمه‌مرطوب کاهش می‌یابد، به‌طوری‌که افزایش غلظت پلاستی‌سایزرها از ۲۵ به ۵۰ درصد، میزان رطوبت نمونه را کاهش‌داده و دمای انتقال شیشه‌ای را افزایش می‌دهد. مطابق جدول۲ گلیسرول ۵۰ درصد بیش از سایر تیمارها رطوبت نمونه را کاهش داده و دمای انتقال شیشه‌ای را افزایش می‌دهد. در دماهای بالاتر از دمای انتقال شیشه‌ای، ترکیبات موادغذایی بی‌شکل (آمورف) از نظر ترمودینامیکی ناپایدارند، بنابراین ساختار آنها همواره تمایل دارد تا در جهت رسیدن به تعادل ترمودینامیکی تغییر کند. افزایش دمای نگهداری یا افزایش آب منجر به افزایش جنبش مولکولی و افزایش شدت واکنش‌های بیوشیمیایی نظیر بلوری‌شدن قندها و قهوه‌ای‌شدن می‌شود (روز ۲۰۰۳).

جدول۲- میزان رطوبت، دمای انتقال شیشه‌ای (T_g) و تغییر در گرمای ویژه (ΔC_p) نمونه‌های انجیر

Table 2-Moisture content, glass transition temperature (T_g) and changes in heat capacity (ΔC_p) for different fig samples

Samples	Moisture content (%)	ΔC_p ($Jg^{-1}K^{-1}$)	T_g (^oC)
Control	20.5±0.4	0.9±0.03	-50.3±2.1
Glucose 25%	20.7±0.3	0.9±0.22	-40.1±2.4
Glucose 50%	17.8±0.3	0.9±0.01	-38.7±3.3
Sucrose 25%	18.6±0.5	0.92±0.03	-42.4±4.8
Sucrose 50%	18.3±0.9	1.00±0.04	-33.5±0.7
Glycerol 25%	18.4±0.5	0.34±1.05	-46.7±5.4
Glycerol 50%	16.1±0.3	0.88±0.09	-36.8±3.0

www.SID.ir

Archive of SID

اکثر واکنش‌های بیوشیمیایی نامطلوب که برعمرنگهداری و خواص حسی محصول نهایی اثر می‌گذارند، در دماهای بالاتر از دمای انتقال شیشه‌ای و کمتر از دمای ذوب (در حالت لاستیکی[۱]) رخ می‌دهند. سرعت این واکنش‌ها را می‌توان با استفاده از دمای جابه‌جایی[۲] ($T-T_g$) بیان‌کرد. اثر دمای نگهداری با T و اثر میزان رطوبت و یا رطوبت نسبی با تغییر در T_g مشخص می‌شود. دمای جابه‌جایی برای توصیف رفتارها و ویژگی‌های مواد با استفاده از رابطه سینتیکی ویلیامز-لندل-فری به‌کارمی‌رود (ویلیامز و همکاران ۱۹۵۵). قبلا سرعت بلوری‌شدن قندهای آمورف در انجیر خشک و درجه تبلور آن با استفاده از ($T-T_g$) بررسی و توصیف‌شده است، صرفه‌نظر از اینکهT و یا T_g تغییر کند. مشخص شد که افزایش زیاد رطوبت یا دما باعث نزدیک شدن به نقطه ذوب و افزایش شدید تحرک مولکولی شده که از نظر ترمودینامیکی ادامه واکنش متوقف می‌شود. از طرفی کاهش زیاد دما و رطوبت باعث می‌شود که ماده غذایی وارد حالت شیشه‌ای و فوق سرد شود و از نظر سینتیکی ادامه واکنش‌ها امکان‌پذیر نباشد. لذا در رطوبت‌های بینابینی شدت و سرعت بلوری‌شدن قندهای آمورف به حداکثر می‌رسد (بدیعی و همکاران ۲۰۱٤). پلاستی‌سایزرها می‌توانند با تغییر دمای انتقال شیشه‌ای و در نتیجه تغییر $T-T_g$ بر شدت قهوه‌ای‌شدگی انجیر نیمه‌مرطوب اثر داشته باشند. زیرا هرچه مقدار $T-T_g$ کمتر باشد، سرعت واکنش یا فساد در دماهای نگهداری بالاتر از T_g کمتر می‌شود (روز ۲۰۰۳). شکل۲ نشان می‌دهد در شرایطی که $T>T_g$ باشد (نگهداری در دماهای بالاتر ازT_g)، با افزایش دمای جابه‌جایی و به‌عبارتی با دورشدن از دمای انتقال-شیشه‌ای به‌دلیل افزایش جنبش مولکولی، شاخص قهوه‌ای‌شدگی (BI) افزایش می‌یابد. صرفه‌نظر از نوع و غلظت پلاستی‌سایزر مورداستفاده و دمای نگهداری، با فاکتور دمای جابه‌جایی می‌توان میزان قهوه‌ای‌شدگی را تعیین نمود. بنابراین در سیستم‌های غذایی عواملی نظیر رطوبت، دمای نگهداری و دمای انتقال شیشه‌ای از عوامل موثر بر سینتیک قهوه‌ای‌شدگی هستند (کارماس و کارل ۲۰۰۵). اگر سیستم در شرایط شیشه‌ای (T-$T_g\leq0$) باشد، به‌دلیل محدود بودن جنبش مولکولی در این شرایط، سرعت واکنش بسیار کند است. هرچه دمای انتقال شیشه‌ای کمتر شود و یا دمای نگهداری افزایش یابد، مقدار عددی $T-T_g$ بیشتر شده و سرعت واکنش-های قهوه‌ای‌شدگی افزایش می‌یابد (روز ۲۰۰۳). در پژوهشی نشان داده‌شد که ۱۰ تا ٤۰ درجه بالاتر از T_g سرعت واکنش‌های قهوه‌ای‌شدگی با شدت زیادی افزایش می‌یابد. همچنین مشخص‌شد که واکنش‌های قهوه‌ای‌شدگی حتی دردماهای پایین‌تر از T_g هم رخ می-دهند ولی سرعت واکنش بسیار پایین است، بنابراین عوامل دیگری نظیر ترکیب‌شیمیایی و ویژگی‌های مواد واکنش‌دهنده نیز بر این واکنش اثر می‌گذارند و T_g تنها فاکتور تعیین‌کننده نیست (لیوونن و روز ۲۰۰۲).

تصاویر میکروسکوپی انجیر شاهد و نمونه‌های انجیر تیمارشده با پلاستی‌سایزرهای مختلف در شکل ۳ نشان داده‌شده‌است. باتوجه به این شکل، نمونه انجیر شاهد ساختار متخلخلی دارد. انجیر شاهد آبدهی‌شده‌است و در نتیجه تصعید آب آزاد طی خشک‌کردن انجمادی، منافذ یا تخلخل‌هایی را در بافت انجیر ایجادمی‌کند که نشان‌دهنده وجود مولکول‌های آب با تحرک بالا در انجیرهای آبدهی‌شده است (انصاری و همکاران ۱۳۹٦). تصویر به‌دست‌آمده برای انجیر تیمارشده با شربت ۲۵ درصد گلوگز نشان می‌دهد که حفراتی در ساختار انجیر تشکیل‌شده‌است ولی باافزایش غلظت شربت گلوکز به ۵۰ درصد حفرات ازبین رفته و بلورهای گلوکز برسطح بافت نمایان می‌شوند. ساختار مشابهی نیز برای انجیر تیمارشده با شربت ساکارز مشاهده شد. به‌این‌ترتیب که در نمونه‌های انجیر پلاستی‌سایزشده با شربت ساکارز ۲۵ درصد، منافذ نسبتا بزرگی دیده می‌شود. با افزایش

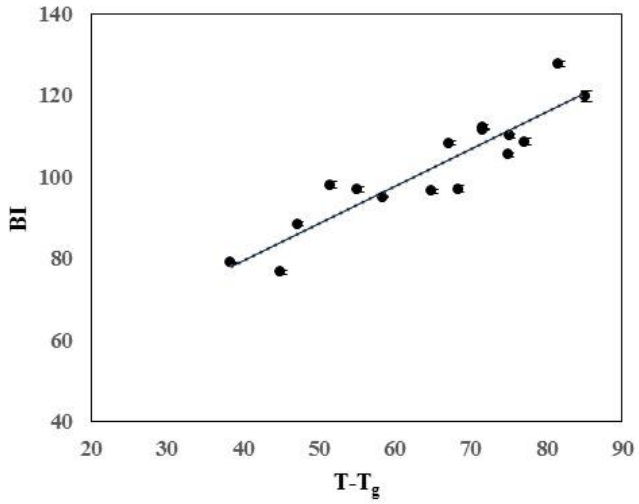
[۱] Rubbery state

[۲] Shifted temperature

www.SID.ir

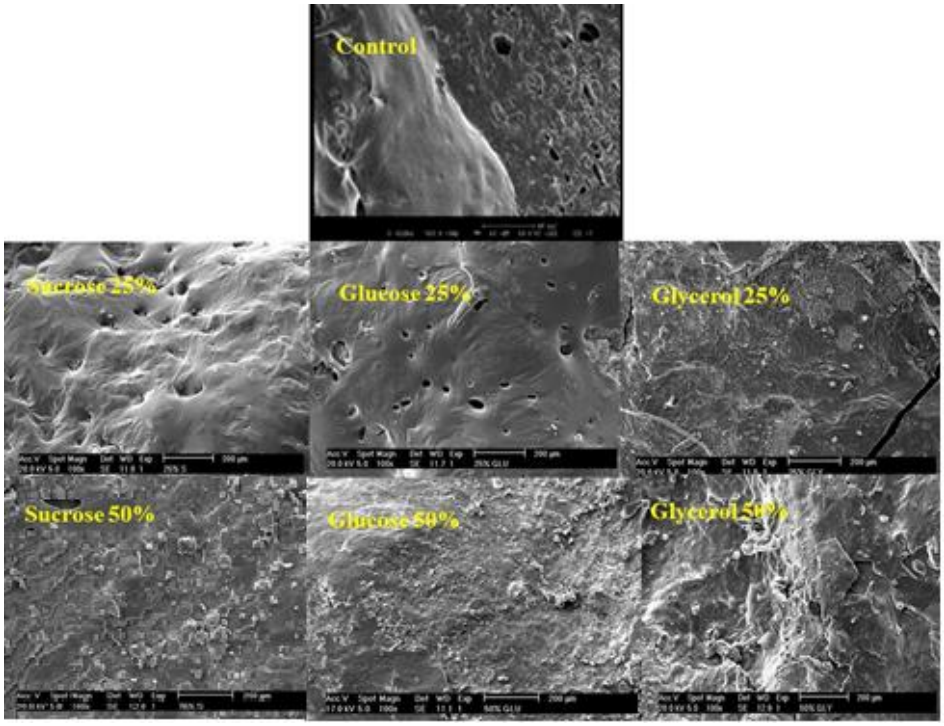
Archive of SID

غلظت شربت ساکارز به ۵۰ درصد به‌دلیل اشباع‌شدگی، بلورهای ساکارز روی سطح انجیر تشکیل می‌شوند و ساختار انجیر غیرمتخلخل می‌شود. تصاویر میکروسکوپی انجیر تیمارشده با گلیسرول غیرمتخلخل است که باافزایش غلظت گلیسرول بافت آن متراکم‌تر می‌شود. زیرا با افزایش گلیسرول میزان آب انجیر کاهش‌می‌یابد و تخلخل کمتر می‌شود.



شکل۲- شاخص قهوه‌ای‌شدگی انجیر تیمارشده با پلاستی‌سایزرها به‌صورت تابعی از $T- T_g$

Figure 2- Browning index of plasticized figs as a function of $T-T_g$



شکل۳- تصاویر میکروسکوپی انجیر تیمارشده با پلاستی‌سایزرهای مختلف

Figure 3- Microscopic images of plasticized figs

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری

قهوه‌ای‌شدگی انجیر از جمله تغییرات بیوشیمیایی وابسته به دمای انتقال شیشه‌ای است. برای بررسی سرعت واکنش‌های قهوه‌ای‌شدگی از پارامتر دمای جابه-جایی ($T-T_g$) استفاده‌شد. بدین‌ترتیب نشان‌داده‌شد که با افزایش دمای جابه‌جایی، شاخص قهوه‌ای‌شدگی افزایش می‌یابد. افزایش این پارامتر می‌تواند از طریق تغییر دمای نگهداری و یا تغییر دمای انتقال‌شیشه‌ای نمونه باشد. در این پژوهش برای تغییر T_g از آب و پلاستی-سایزرهای مختلف در غلظت‌های متفاوت استفاده‌شد. نتایج نشان داد که صرفه‌نظر از نوع و غلظت پلاستی-سایزر و هم‌چنین دمای نگهداری، قهوه‌ای‌شدگی انجیر نیمه‌مرطوب تابعی است از مقدار $T-T_g$. افزایش مقدار پارامتر دمای جابه‌جایی نشان‌می‌دهد که نیروی محرکه واکنش‌های بیوشیمیایی به‌دلیل دورشدن از دمای انتقال‌شیشه‌ای و افزایش جنبش مولکولی در سیستم-غذایی افزایش می‌یابد. نتایج نشان‌داد که شربت گلوکز ۵۰ درصد و شربت ساکارز ۵۰ درصد در کنترل قهوه-ای‌شدن انجیر نیمه‌مرطوب موثرتر از سایر تیمارها هستند و کاربرد این پلاستی‌سایزرها به‌عنوان روشی مناسب و کم‌هزینه برای به‌تعویق‌انداختن قهوه‌ای‌شدگی انجیرنیمه‌مرطوب و افزایش بازارپسندی آن قابل-توصیه‌است.

منابع مورد استفاده

انصاری س، حسینی الف، مفتون آزاد ن، فرحناکی ع و اسدی غ ح، ۱۳۹۶. بررسی رابطه میان شاخص قهوه ای شدن و میزان تشکیل هیدروکسی متیل فورفورال در انجیر نیمه مرطوب، نوآوری در علوم و فناوری غذایی، ۹(۱) ، ۹۳-۱۰۲.

انصاری س، فرحناکی ع و مجذوبی م، ۱۳۸۸. بررسی تأثیر افزودن گلیسرول و شربت گلوکز بر تبلور قندها در انجیرخشک، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۳(٤٨)، ۲۷۱-۲٦۳.

فرامرزی ح ر، موسوی سیدی س ر، هاشمی س ج و کلانتری د، ۱۳۹٦. بررسی عملکرد یک خشک‌کن خورشیدی اتوماتیک برای محصولات انگور، انجیر و آلو، نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی، ۲۷(۲)، ۱۰۲-۹۱.

فرجی ن، مفتون آزاد ن، فرحناکی ع، بدیعی ف و حسینی س ا، ۱۳۹٤. بررسی تاثیر تیمارهای مختلف در کنترل قهوه‌ای شدن انجیر نیمه‌مرطوب (پرسی) رقم سبز استهبان، فصلنامه علوم و صنایع غذایی ایران، ٤۷(۱۲)، ۱۸۰-۱۷۱.

Ansari S, Maftoonazad N, Farahnaky A, Hosseini E and Badii F, 2014. Effect of moisture content on textural attributes of dried figs. International Agrophysics 28: 403-412.

Ansari S, Maftoon-Azad N, Hosseini E, Farahnaky A and Asadi GH, 2015. Modeling rehydration behavior of dried fig. Journal of Agricultiral Science and Technology 17: 133-144.

Badii F, Farahnaky A and Behmadi H, 2014. Effect of storage relative humidity on physical stability of dried fig. Journal of Food Processing and Preservation 38(1): 477-483.

Bell LN, 1996. Kinetics of non-enzymatic browning in amorphous solid systems: distinguishing the effects of water activity and glass transition. Food Research International 28 (6): 591-597.

Champion D, Le Meste M and Simatos D. 2000. Towards an improved understanding of glass transition and relaxations in foods: molecular mobility in the glass transition range. Trends in Food Science and Technology 11: 41-55.

Doynaz I, 2005. Sun drying of figs: an experimental study. Journal of Food Engineering 71, 403-407.

FAO, 2019. Statistical Database. Available from: http://faostat.fao.org.

Farahnaky A. Ansari S and Majzoobi M, 2009. Effect of glycerol on the moisture sorption isotherm of figs. Journal of Food Engineering 93: 468-473.

Giang Y, Duan X and Qu H, 2016. Browning: Enzymatic browning. Encyclopedia of Food and Health 508-514.

www.SID.ir

Archive of SID

Karmas R and Karel M, 2005. Effect of glass transition on maillard browning in food models. In: T.P. Labuza GA Reineccius VM Monnier J, O'Brien & JW Baynes (Eds.), Maillard Reactions in chemistry, food, and health. (pp. 182-187). Woodhead Publishing, Ltd. Cambridge, England.

Levine H and Slade L, 1986. A polymer physico-chemical approach to the study of commercial starch hydrolysis products (SHPs). Carbohydrate Polymers 6: 213-244.

Lievonen SM and Roos YH, 2002. Non-enzymatic browning in amorphous food models: effects of glass transition and water. Journal of Food Science 67 (6): 2100-2106.

Roos Y H, 2003. Thermal analysis, state transitions and food quality. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry 71: 197-203.

Rufian-Henares JA and Pastoriza S, 2016. Browning: non-enzymatic browning. Encyclopedia of Food and Health 515-521.

Siddig M and Dolan KD, 2017. Characterization of polyphenol oxidase from blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.). Food Chemistry 218: 216-220.

Sahraei Khosh Gardesh A, Badii F, Hashemi M, Yasini Ardakani A, Maftoonazad N and Mousapour Gorji A, 2016. Effect of nanochitosan based coating on climacteric behaviour and postharvest shelf-life extension of Apple cv. Golab Kohanz. LWT-Food Science and Technology 70: 33-40.

Sunds AV, Rauh VM, Sørensen J and Larsen LB, 2018. Maillard reaction progress in UHT milk during storage at different temperature levels and cycles. International Dairy Journal 77: 56-64.

Williams L M, Landel R F and Ferry JD, 1955. The temperature dependence of relaxation mechanisms in amorphous polymer and other glass forming liquids. Journal of American Chemistry Society 77: 3701-3707.

Yamada H, Ando T, Tsutani K, Amano S and Yamamoto Y, 2009. Mechanism of browning occurring during the processing of semi-dried persimmons. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science 78(1): 124–130.

www.SID.ir

Archive of SID

Effect of different plasticizers on microscopic structure and browning in Estahban intermediate moisture fig cv. *Sabz*

F Badii[1*], N Maftoonazad[2], S Maadani[3] and M Shahamirian[4]

Received: April 11, 2018 Accepted: July 10, 2018

[1]Associate Professor, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
[2]Associate Professor, Agricultural Engineering Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran
[3]Researcher, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
[4]Research Instructor, Agricultural Engineering Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran
[*]Corresponding author: Email: f.badii@areeo.ac.ir

Introduction: Fig (*Ficus carica* L.) is a very nutritious fruit with high amounts of carbohydrates, minerals and vitamins (Doymaz 2005). This fruit is highly perishable with a very short storage life even in refrigerator. Therefore, it is mostly used in dried form (Farahnaky et al., 2009). Although drying is a suitable way to improve its shelf-life, producing semi-dried fig leads to improving the marketability of this fruit. However, due to higher water activity, semi-dried figs with intermediate moisture content have short storage life and undergo physical, chemical and sensorial changes. Browning is the major problem that takes place in dried and semi-dried fruits during storage and has a great negative impact on their consumption and marketability. The browning of food products results from enzymatic and non-enzymatic reactions. Polyphenol oxidase is the major enzyme responsible for enzymatic browning in fruits (Giang et al., 2016). However, non-enzymatic browning is often associated with maillard reaction and ascorbic acid degradation (Yamada et al., 2009). Controlling water activity plays an important role in reducing non-enzymatic browning. Plasticizers like mono-, di- and oligosaccharides (glucose and sucrose syrup and honey), polyols (glycerol, sorbitol and glycerol derivatives) and fats and their derivatives can reduce water activity and change the glass transition temperature. The objective of this study was to produce semi-dried figs using different plasticizers and to investigate the effects of plasticizers on browning kinetics and stability of fig with intermediate moisture content.

Material and methods: Semi-dried figs (cv. *Sabz*) were obtained by adding different plasticizers of sucrose syrup at concentrations of 25, 50 (W/V), glucose syrup at concentrations of 25 and 50 % (W/V) and glycerol at two concentrations of 25 and 50 % (V/V). The rehydrated figs were considered as control. All the samples were kept in airtight containers at three temperatures of 5, 25 and 35^{o}C. Thermal properties of the samples were measured using differential scanning calorimetry (DSC). Browning index was obtained by measuring three color dimensions of L* (lightness or brightness), a* (redness or greenness) and b* (yellowness or blueness) values of the plasticized figs and control. Microscopic structures of different fig samples were observed by scanning electron microscopy. A completely randomized design was used to assess the effect of adding different plasticizers and storage temperature on the browning index of figs independently. All the experiments were carried out in three replications. Analysis of the results (ANOVA one-way) was done using SPSS statistical software version 19 at probability value of 5% ($p < 0.05$) and the mean significant difference was assessed using Duncan's multiple range tests.

Results and discussions: DSC thermograms of fig samples showed a stepwise change associated to the glass transition of amorphous regions. By adding different plasticizers, the moisture content of semi-dried figs decreased and their T_g shifted to higher temperatures compared to the control. The

www.SID.ir

Archive of SID

results showed that the glass transion temperature (T_g) of the rehydrated fig (control) was lower than that of other plasticized figs, which shows that water is the most effective plasticizer for food systems. Then, browning index of the figs was measured after 3 months. Browning index rose significantly during storage time. Furthermore, by increasing storage temperature, the values of browning index increased significantly and it was higher for the control compared to the other plasticized samples. This means that control figs were darker than the plasticized samples over the whole storage time. Finally, the concept of shifted temperature parameter ($T-T_g$) was used to account for the effects of storage temperature (T) and plasticizers (through T_g) on the changes of fig browning index. Microscopic images of fig samples showed that rehydrated fig had a porous structure. By increasing the concentration of glucose syrup to 50%, the structure of fig became less porous and as a result of saturation, glucose crystal was appeared on the surface. The same structure was observed for the plasticized figs with sucrose syrup. Plasticized figs with glycerol had denser and non-porous structure.

Conclusion: Fig browning is a biochemical change which is dependent on glass transition. The rate of browning was expressed by the shifted temperature parameter ($T-T_g$) and increased by increasing shifted temperature, regardless of whether T or T_g was varied.The overall results showed that 50 % glucose syrup and 50 % sucrose syrup are the most effective treatments to control the browning of fig fruit.

Keywords: Browning index, Fig, Glass transition temperature, Plasticizer, Shifted temperature

www.SID.ir