مقاله علمی پژوهشی/ نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی/ جلد ۳۱ شماره ۴/ سال ۱۴۰۰/ صفحات ۱۵۵ تا ۱۶۸

DOI: 10.22034/FR.2021.42255.1767

تأثیر نوع روغن بر میزان تشکیل آکریل‌آمید در سیب‌زمینی سرخ شده

مهرداد عاشوری[۱]، مریم قراچورلو[*۲] و مسعود هنرور[۳]

تاریخ دریافت: ۹۹/۷/۲۳ تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۰/۲۰

[۱] دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم و مهندسی صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

[۲] دانشیار گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

[۳] دانشیار گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

[*]مسئول مکاتبات: Email: m_gharachorlo@srbiau.ac.ir

چکیده

زمینه مطالعاتی: آکریل‌آمید توسط آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان (IARC) در دسته مواد احتمالی ایجاد سرطان طبقه‌بندی می‌شود که در اثر حرارت شدید در مواد غذایی ایجاد می‌گردد. **هدف**: با توجه به اینکه بیشترین مقادیر آکریل-آمید در سیب‌زمینی سرخ شده و فراورده‌های مشابه آن تشکیل می‌شود، در این مطالعه به تأثیر نوع روغن بر میزان تشکیل آکریل‌آمید در سیب‌زمینی سرخ شده پرداخته شده است. **روش کار**: چهار نوع روغن، آفتابگردان، سویا، کانولا و یک نوع روغن سرخ‌کردنی (حاوی ترکیبات روغن پالم اولئین، پالم سوپر اولئین و روغن آفتابگردان) به‌مدت ۱۰ ساعت در دمای ۱۸۰°C تحت حرارت قرارگرفته و در فواصل زمانی ۳ ساعت، سیب‌زمینی‌ها داخل روغن به‌مدت ۵ دقیقه سرخ شده و در هر مرحله از سرخ شدن، نمونه روغن و سیب‌زمینی تهیه گردید. مقادیر آکریل‌آمید، عدد پراکسید، عدد آنیزیدین، عدد توتوکس و پروفایل اسیدهای چرب اندازه‌گیری شدند. **نتایج**: با افزایش یافتن طول مدت حرارت‌دهی روغن، مقادیر عدد پراکسید، عدد آنیزیدین و در مجموع عدد توتوکس نیز افزایش یافت. بیشترین مقدار عدد توتوکس پس از ۱۰ ساعت حرارت‌دهی به‌ترتیب در روغن سویا (٤٦/٧٦)، روغن آفتابگردان (٤٢/١٤)، روغن سرخ‌کردنی (٣٢/٤٥) و روغن کانولا (٢٩/٥٧) اندازه‌گیری شد. مقادیر آکریل‌آمید سیب‌زمینی نیز با افزایش زمان حرارت‌دهی روغن روند افزایشی داشت، به-طوری‌که محدوده مقادیر آکریل‌آمید در سیب‌زمینی‌های سرخ شده در روغن سویا (١٠٥٦-٧٣µg/kg)، روغن آفتابگردان (٩٦٣-٧٢µg/kg)، روغن سرخ‌کردنی (٤٦٥-٦٠µg/kg) و روغن کانولا (٣٩٤-٥٧µg/kg) به‌دست آمد. **نتیجه‌گیری نهایی**: بر اساس میزان اکسیداسیون روغن‌های مورد مطالعه که در اثر آن ترکیبات ثانویه ایجاد می‌شوند، روغن سویا که دچار بیشترین اکسیداسیون شده بود دارای بالاترین مقدار آکریل‌آمید بوده و در روغن‌های دیگر نیز بین میزان اکسیداسیون و تشکیل آکریل‌آمید همبستگی بالایی وجود داشت.

واژگان کلیدی: آکریل‌آمید، اکسیداسیون، اسیدهای چرب، عدد آنیزیدین، عدد پراکسید، عدد توتوکس

مقدمه

آکریل‌آمید که با عنوان آکریلیک‌آمید و 2-propenamide نیز شناخته می‌شود، یک ماده جامد سفید رنگ، بدون بو، کریستالی، محلول در آب، با فرمول شیمیایی C_3H_5NO با جرم مولکولی ۷۱/۰۸ است (هالفورد و کورتیس ۲۰۱۹). آکریل‌آمید ترکیبی است که توسط آژانس بین-

المللی تحقیقات سرطان (IARC)[1]در دسته مواد احتمالی ایجاد سرطان طبقه‌بندی می‌شود (آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان ۱۹۹٤). آکریل‌آمید در برخی مواد غذایی مانند چیپس سیب‌زمینی، سیب‌زمینی سرخ شده و نان برشته در اثر حرارت دادن به‌وجود می‌آید (ماچی و همکاران ۲۰۰۳؛ هوگرورست و همکاران ۲۰۰۷). بر اساس رهنمودهای سازمان جهانی بهداشت، ۰/٥µg آکریل‌آمید در یک لیتر آب آشامیدنی به‌عنوان غلظت قابل تحمل برای سلامتی در نظر گرفته شده است. همچنین متوسط میزان دریافت آکریل‌آمید از طریق مواد غذایی در جوامع پیشرفته در محدوده ۰/۳ تا ۰/۸µg به ازاء هر کیلوگرم وزن بدن در روز تخمین زده شده است (فائو/سازمان جهانی بهداشت ۲۰۰۲).

سرخ کردن در روغن یکی از قدیمی‌ترین و محبوب‌ترین روش‌های آماده سازی غذا است. غذاهای سرخ شده، بافت ترد، طعم و رنگ مطلوبی دارند که موجب می‌شود تا غذاهای سرخ شده برای مصرف کنندگان محبوب باشند (چو و مین ۲۰۰۷). سیب‌زمینی سرخ شده یکی از محصولات مورد علاقه در جهان است که خصوصیات بافتی و طعم خاص آن برای مشتریان جذاب می‌باشد. خصوصیات حسی سیب‌زمینی سرخ شده وابسته به هر دو عامل مواد خام و پارامترهای تکنیکی برای تولید محصول است. سرخ کردن، یکی از فاکتورهای مؤثر در طعم و بافت سیب‌زمینی سرخ شده است که دما، زمان و نوع روغن سرخ‌کردنی نیز بر این فاکتور تأثیرگذار هستند (کیتا و همکاران ۲۰۰۵). به‌دلیل اینکه محصولات سرخ شده سیب‌زمینی دارای محبوبیت بوده و خوشمزه هستند، در بین نوجوانان و جوانان جامعه مصرف بالایی دارند که موجب می‌شود این گروه سنی بیشتر در معرض خطرات ناشی از آکریل‌آمید باشند (جمشیدیان و ماهرانی ۱۳۹۰).

مسیر اصلی تشکیل آکریل‌آمید، حین قهوه‌ای شدن به‌وسیله فرایند مایلارد است که در اثر واکنش بین قندهای احیاکننده و اسیدآمینه آسپاراژین به‌واسطه دکربوکسیلاسیون باز شیف از مسیر استریکر تولید می‌گردد (کوتسیو و همکاران ۲۰۱۳). حرارت موجب واکنش دکربوکسیلاسیون و دآمیناسیون اسیدآمینه آسپاراژین می‌شود که پایه اصلی تشکیل آکریل‌آمید است و حضور قندهای احیاکننده برای این واکنش ضروری می‌باشند (کرامت و همکاران ۲۰۱۱). طی سرخ کردن، در اثر واکنش مایلارد بین قندهای احیاکننده و آسپاراژین که در اثر آن آکریل‌آمید تولید می‌شود، رنگ‌دانه‌های ملانوئیدینی (زرد، قرمز تا قهوه‌ای بسته به شرایط سرخ شدن) نیز تشکیل می‌شود (بیکی و همدمی ۱۳۹۵). با اینکه مسیر اصلی تشکیل آکریل‌آمید در مواد غذایی از طریق آسپاراژین و قندهای احیاکننده است، ولی مسیرهای دیگری مانند آکرولئین و آمونیاک برای تشکیل آکریل‌آمید وجود دارد. آکرولئین و آکریلیک اسید به‌وسیله تخریب چربی‌ها (تری‌گلیسیریدها) در شرایط دمایی بالا تولید می‌شوند. تجزیه اسیدآمینه با آمونیاک می‌تواند منجر به شکل‌گیری آکریل‌آمید در شرایط تجزیه گرمایی شود (کریشناکومار و ویسواناتان ۲۰۱٤).

روغن به‌دلیل انتقال حرارت و تأثیراتی که در طعم و مزه دارد، یکی از اجزاء مهم در تهیه سیب‌زمینی سرخ کرده است. باید توجه داشت که در اثر استفاده از روغن در دمای بالا و مدت زمان طولانی، روغن دچار تخریب شیمیایی شده و در اثر آن اکسیداسیون، پلیمریزاسیون و هیدرولیز رخ می‌دهد که در نهایت، ترکیبات مختلفی مانند آلدهید، اپوکسید، هیدروکسی کتون و ترکیبات دکربوکسیله ایجاد می‌گردد، این ترکیبات قابلیت ترکیب با اسیدهای آمینه را دارند (آکو و مین ۲۰۰۸). به‌همین جهت، این احتمال وجود دارد که این ترکیبات با اسید-آمینه آسپاراژین موجود در سیب‌زمینی واکنش داده و غلظت آکریل‌آمید در محصولات سرخ شده سیب‌زمینی را افزایش دهد. بر همین اساس استفاده از روغنی که

[1] International Agency for Research on Cancer

کمتر دچار اکسیداسیون شده و در پی آن محصولات اکسیداسیون کمتری تولید نموده و نیز در تشکیل آکریل-آمید کمترین اثر را داشته باشد، مطلوب به نظر می‌رسد. هدف از این تحقیق، بررسی انواع روغن در شرایط حرارت‌دهی به‌مدت طولانی و تأثیری که ممکن است بر تشکیل آکریل‌آمید در سیب‌زمینی سرخ شده داشته باشد.

مواد و روش‌ها

مواد خام

سیب‌زمینی مورد استفاده در آزمون‌ها، از گونه آگریا که بیشترین مصرف را در صنعت دارد، با هماهنگی موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر از یکی از مزارع تحت کشت به مقدار ۱۵kg تهیه گردید. چهار نوع روغن جهت انجام آزمون به شرح زیر تهیه گردید: روغن سرخ‌کردنی (حاوی ترکیبات روغن پالم سوپر اولئین، روغن آفتابگردان و روغن پالم اولئین) و آفتابگردان با برند سانتین تولید شرکت صنایع غذایی کورش، روغن کانولا با برند آفتاب تولید شده توسط شرکت مارگارین که همگی جهت مصرف خانوار بودند از یکی از فروشگاه‌های زنجیره‌ای تهیه گردیدند. روغن سویا نیز از خط تولید شرکت صنایع غذایی کورش تهیه گردید.

مواد شیمیایی و شناساگرها

استاندارد آکریل‌آمید، استاندارد اسیدهای چرب و واکنش‌گر پارا-آنیزیدین از شرکت مرک تهیه گردیدند. تمامی حلال‌ها و مواد شیمیایی به کار رفته در آزمون‌ها دارای خلوص آزمایشگاهی بودند.

روش کار

در ابتدا، ۱/۵ لیتر روغن در دستگاه سرخ‌کن برقی Hamilton مدل DH-337 ریخته شد و به‌مدت یک ساعت فرصت داده شد تا حرارت روغن تدریجاً به دمای ۱۸۰°C برسد و تثبیت شود، سیب‌زمینی‌ها به قطعات ۲×۲×۲cm برش داده شدند و مقدار ۲۰۰g داخل دستگاه سرخ‌کن ریخته شد، پس از گذشت ۵ دقیقه سیب‌زمینی-های سرخ شده از دستگاه خارج شده و جهت خروج روغن اضافی و سرد شدن داخل توری قرار داده شد. هم‌زمان به مقدار ۱۰۰ml از روغن نمونه برداری گردید. دستگاه سرخ‌کن همچنان در دمای ۱۸۰±۵°C روشن باقی ماند و به‌طور پیوسته دما توسط دماسنج لیزری کنترل گردید، پس از گذشت ۳ ساعت نمونه بعدی به روش فوق به‌مدت ۵ دقیقه سرخ شد. نمونه‌های سوم و چهارم نیز به فاصله زمانی ۳ ساعت از یکدیگر تهیه گردیدند. تمامی روغن‌های مورد مطالعه در این تحقیق به روش فوق جهت سرخ کردن سیب‌زمینی مورد استفاده قرار گرفتند. آزمون‌های تعیین پروفایل اسیدهای چرب مربوط به روغن خام و همچنین عدد پراکسید، عدد آنیزیدین و عدد توتوکس روغن حرارت دیده صورت پذیرفت. آزمون اندازه‌گیری مقدار آکریل‌آمید بر روی سیب‌زمینی سرخ شده انجام شد.

اندازه‌گیری میزان آکریل‌آمید

آزمون بر اساس روش نوتاردوناتو و همکاران (۲۰۱۳) و بختیاری (۱۳۹٤) با اندکی تغییرات انجام پذیرفت. اندازه‌گیری به روش GC-ECD بر مبنای استخراج آکریل‌آمید از نمونه بدون چربی به کمک کلرید سدیم و مشتق سازی به‌وسیله برم صورت گرفت. آماده سازی نمونه: ۲g از نمونه همگن وزن گردید و در داخل لوله فالکن ۵۰ml ریخته شد، حدود ۲۰ml آب مقطر به آن اضافه شد و لوله فالکن به‌مدت ۵ دقیقه ورتکس گردید، سپس ۱ml از محلول‌های کارز I و II اضافه شد. پس از آن به‌مدت ۵ دقیقه با دور ۵۰۰۰ سانتریفیوژ گردید. لایه آبی خارج شد و ۲ml هگزان اضافه گردید. بار دیگر لوله فالکن به‌مدت ۵ دقیقه با دور ۵۰۰۰ سانتریفیوژ گردید. لایه هگزانی دور ریخته شد و ۱۰ml از فاز آبی به فالکن دیگری منتقل گردید.

مشتق سازی: به ۱۰ml نمونه آماده‌سازی شده و محلول استاندارد، ۱/۵g پتاسیم برمید اضافه و ۵۰µl اسیدبرمیک اضافه گردید. سپس ۰/۵ml آب برم اشباع اضافه گردید. لوله فالکن به‌مدت یک ساعت در یخچال در دمای ٤°C قرار داده شد. سپس، نمونه از یخچال خارج و سدیم

تیوسولفات به محلول اضافه گردید تا مرحله‌ای که محلول بی رنگ شد. مقدار ۳g سدیم کلراید به نمونه اضافه گردید. پس از آن ۱۰ml اتیل استات به نمونه اضافه شد. لایه فوقانی خارج شد و به یک بالون منتقل گردید و این مرحله دوباره تکرار شد. محتویات بالون در روتاری قرار داده شد ۰/۵ml اتیل استات به آن اضافه شد. در مرحله آخر بالون ورتکس شد و به دستگاه GC-ECD تزریق گردید.

دستگاه Agilent مدل 7890A با آشکارساز ECD.

مشخصات ستون: (DB-5) به طول ستون ۳۰m، قطر داخلی ۰/۲۵mm و ضخامت۰/۲۵µm.

روش تزریق: (Split(1:2، دمای محل تزریق: ۲۵۰°C، گاز حامل: هلیوم با جریان ۱ml/min، برنامه گرمخانه: دمای ۶۰°C (۲ دقیقه)، افزایش دما هر دقیقه۱۰°C، دمای ۲۰۰°C (۲ دقیقه) و دمای آشکارساز: ۳۰۰°C

برای رسم منحنی استاندارد، از غلظت‌های ۰/۱، ۰/۲، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ میکروگرم استفاده شد.

تعیین پروفایل اسیدهای چرب

آزمون شناسایی پروفایل اسیدهای چرب بر اساس استاندارد ملی ایران به شماره‌های ٤ و ۲-۱۳۱۲٦ سال ۱۳۹٤ صورت پذیرفت.

از دستگاه کروماتوگرافی گازی Agilent مدل 6890A مجهز به آشکارساز یونیزه کننده با شعله (FID)، استفاده گردید.

مشخصات ستون: (CP-sil88) به طول ۱۰۰m و قطر داخلی ۰/۲۵mm با ضخامت ۰/۲µm.

آزمون اندازه‌گیری عدد پراکسید

اندازه‌گیری میزان پراکسید بر اساس روش آزمون استاندارد ملی با شماره ٤۱۷۹ سال ۱۳۹٦ به روش یدومتری صورت پذیرفت. نمونه در محلول ایزواکتان و اسیدگلاسیال حل شد و یدور پتاسیم به آن اضافه گردید. ید آزاد شده به‌وسیله پراکسیدها، به روش یدومتری در حضور معرف نشاسته و محلول تیوسولفات سدیم، اندازه‌گیری شد، نقطه پایانی تیتراسیون با مشاهده تغییر رنگ تعیین گردید.

آزمون اندازه‌گیری عدد آنیزیدین

اندازه‌گیری عدد آنیزیدین بر اساس روش آزمون استاندارد ملی شماره ٤۰۹۳ سال ۱۳۹۵ صورت گرفته است. مقدار جذب در طول موج ۳۵۰nm در دستگاه طیف‌سنج Lambda 2 اندازه‌گیری شد.

تعیین میزان عدد توتوکس

محاسبه عدد توتوکس بر اساس فرمول زیر که در استاندارد ملی شماره ٤۰۹۳ سال ۱۳۹۵ اشاره شده است صورت پذیرفت.

$$TV= (2\times PV) + AV$$

PV: عدد پراکسید

AV: عدد آنیزیدین

تجزیه و تحلیل داده‌ها

در این پژوهش از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. ارزیابی‌ها در ۳ تکرار صورت گرفت. تجزیه و تحلیل داده‌ها، با استفاده از روش آنالیز واریانس ANOVA صورت پذیرفت. برای مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون دانکن در سطح ۵٪ استفاده گردید. همچنین برای بررسی وجود همبستگی بین متغیرهای از آنالیز رگرسیون استفاده شد. از نرم افزار SPSS نسخه ۲٤ جهت آنالیز داده‌ها و برای رسم نمودارها از نرم افزار Excel نسخه ۲۰۱۳ استفاده شد.

نتایج و بحث

پروفایل اسیدهای چرب

با توجه به نتایج به‌دست آمده (جدول ۱) بالاترین مقادیر مجموع اسیدهای چرب اشباع به‌ترتیب در روغن سویا (۱۹٪/۹٦) و پس از آن در روغن سرخ‌کردنی (۱٦/۷۵٪) و روغن آفتابگردان (۱۱/٤٦٪) و روغن کانولا (۸/۰۰٪) بود. همچنین بالاترین مقادیر مجموع اسیدهای چرب غیراشباع به‌ترتیب در روغن کانولا (۹۱/۹۵٪)، آفتابگردان (۸۸٪/۵۲)، روغن سرخ‌کردنی (۸۳/۲۱٪) و کمترین مربوط به روغن سویا (۸۳/۰٤٪) بود. مقادیر اسیدهای

چرب تک غیراشباعی به‌ترتیب در روغن کانولا (۶۵٪/۷۴)، روغن سرخ‌کردنی (۳۹/۳۲٪)، روغن آفتابگردان (۲۳/۱۱٪) و روغن سویا (۲۲/۰۰٪). اسیدهای چرب چند غیراشباعی به‌ترتیب در روغن آفتابگردان (۶۵٪/۴۱)، روغن سویا (۶۱/۰۴٪)، روغن سرخ‌کردنی (۴۳٪/۸۹) و روغن کانولا (۲۶/۲۱٪) وجود داشت. حین فرایند سرخ کردن، روغن در حضور آب موجود در داخل ماده سرخ شدنی و هوای سطح، به‌مدت طولانی در معرض حرارت بالا قرار می‌گیرد. در این فرایند، روغن محیط داغ را فراهم نموده و همچنین عطر و طعم غذا را بهتر می‌کند. این شرایط سخت حرارتی در حضور هوا موجب انجام تعدادی واکنش شیمیایی، شامل اکسیداسیون، هیدرولیز و پلیمریزاسیون اسیدهای چرب غیراشباع می‌شود که موجب تغییرات نامطلوب در روغن مورد استفاده می‌گردد. همچنین طی فرایند شدید حرارتی ممکن است محصولات فرار زنجیره کوتاه، مشتقات اکسید شده غیر فرار، دیمری، پلیمری یا ترکیبات حلقوی تولید شود (ماتیوس ۲۰۰۶). پایداری اکسیداتیو چربی‌ها بر اساس توزیع هندسی و تعداد باند دوگانه مشخص می‌گردد. اکسیداسیون در اسیدهای چرب غیراشباع تشکیل دهنده مولکول‌های تری‌گلسیرید رخ می‌دهد که علت آن حضور باندهای دوگانه در زنجیره این نوع اسیدهای چرب است. همچنین از نظر توزیع هندسی، ایزومرها با ساختار Cis نسبت به Trans بیشتر مستعد اکسیداسیون هستند (اوبرین ۲۰۰۸). روغن‌هایی که حاوی اسیدهای چرب چند غیراشباعی (PUFA[1]) هستند نسبت به اسیدهای چرب تک غیراشباعی (MUFA[2]) در مقابل اکسیداسیون پایداری کمتری دارند. پایداری اکسیداتیو با افزایش تعداد باند دوگانه کاهش می‌یابد. بر همین اساس اسید چرب اولئیک (C18:1) بالاترین پایداری حرارتی در بین اسیدهای چرب غیراشباع و پس از آن اسید چرب لینولئیک (C18:2) و کمترین پایداری را اسید چرب لینولنیک (C18:3) دارد. نسبت تأثیر باندهای دوگانه بر حساسیت به اکسیداسیون از طریق فرمول زیر به‌صورت تئوری محاسبه می‌شود (دانفورد ۲۰۱۵ و اوبرین ۲۰۰۸).

$$(\%C\text{-}18{:}2 \times 1) + (\%\ C\text{-}18{:}3 \times 2)$$

درصد اسیدهای چرب موجود در روغن‌ها که مستعد فساد اکسیداتیو هستند به شرح زیر است.

سویا (۶۷/۴۳) > آفتابگردان (۶۵/۴۹) > سرخ‌کردنی (۴۴/۷۸) > کانولا (۳۰/۴۲)

نتایج عدد پراکسید طی مدت حرارت‌دهی

نتایج مربوط به مقادیر عدد پراکسید در تیمارهای مختلف طی زمان حرارت‌دهی در (جدول ۲) آورده شده است. نتایج به‌دست آمده از آزمون مقادیر عدد پراکسید نشان داد تغییرات مقادیر عدد پراکسید تحت تأثیر زمان و تیمار است، به همین علت آنالیز آماری تأثیر زمان و تیمار بر مقادیر عدد پراکسید تیمارها به‌صورت جداگانه ارزیابی شد. با توجه به نتایج آنالیز آماری، با گذشت زمان مقادیر عدد پراکسید در تمامی تیمارها روند افزایش و کاهشی داشت ($P<0/05$). نتایج آنالیز آماری در ارتباط با تیمارهای مختلف نسبت به هم نشان داد، در اکثر زمان‌های حرارت‌دهی، بیشترین مقادیر عدد پراکسید در تیمار روغن سویا و کمترین مقادیر در روغن سرخ‌کردنی مشاهده شد ($P<0/05$)، اما در انتهای زمان حرارت‌دهی مقادیر عدد پراکسید در تیمارهای روغن آفتابگردان و سویا نسبت به هم و همچنین روغن کانولا و سرخ‌کردنی نسبت به هم اختلاف معنی‌داری نداشتند ($P>0/05$). افزایش عدد پراکسید نشان‌دهنده افزایش میزان محصولات اولیه اکسیداسیون است که منجر به شکل‌گیری هیدروپراکسیدها می‌شوند (لیم و همکاران ۲۰۱۴). هیدروپراکسیدها در اثر واکنش بین اکسیژن و اسیدهای چرب غیراشباع تولید می‌شوند که محصول اولیه واکنش اکسیداسیون روغن‌ها می‌باشند (گانستون ۲۰۱۱). ترکیب اسید چرب روغن‌ها به‌عنوان

[1] Polyunsaturated fatty acid

[2] Monounsaturated fatty acid

عامل داخلی مؤثر بر مقدار و سرعت تولید و شکست پراکسیدها شناخته می‌شوند. روغن کانولا به‌دلیل اسید اولئیک (C18:1) بیشتر و اسیدهای چرب چند غیراشباع کمتر ازجمله اسید لینولئیک (C18:2)، به تولید و شکست پراکسید مقاومت بیشتری نشان می‌دهد، همچنین دارای دوره اکسیداسیون کند طولانی‌تر و شکست‌های موقت پراکسید کمتر در دماهای ۱۰۰، ۱۲۰، ۱۴۰و ۱۶۰°C است. روغن سویا به‌دلیل اسید چرب تک غیراشباع کمتر و اسید لینولئیک بیشتر دارای سرعت تولید و شکست پراکسید بیشتر می‌باشد (نواب دانشمند و قوامی ۱۳۹۰).

جدول ۱- ترکیب اسیدهای چرب روغن‌ها (٪)

Table 1- Fatty acid compositions of oils (%)

Fatty acids		Oil type			
		Sunflower oil	Soybean oil	Canola oil	Frying oil
Total SFA		**11.46±0.18**	**16.92±0.02**	**8.00±0.19**	**16.75±0.24**
Palmitoleic	(C16:1)	0.09±0.02	0.14±0.04	0.20±0.03	0.17±0.01
Oleic	(C18:1)	22.78±0.14	21.86±0.02	61.91±0.25	38.46±0.06
Gondoic	(C20:1)	0.24±0.06	ND	3.63±0.31	0.69±0.02
Total MUFA		**23.11±0.18**	**22.00±0.04**	**65.74±0.40**	**39.32±0.06**
Linoleic	(C18:2)	65.33±0.19	54.74±0.05	22.00±0.51	43.00±0.04
Linolenic	(C18:3)	0.08±0.01	6.30±0.07	4.21±0.08	0.89±0.02
Total PUFA		**65.41±0.19**	**61.04±0.08**	**26.21±0.51**	**43.89±0.04**
Total USFA		**88.52±0.26**	**83.04±0.09**	**91.95±0.65**	**83.21±0.07**

1- Values represent the means of three replications ±SD

2- Abbreviation: **SFA**, saturated fatty acid**; MUFA**, monounsaturated fatty acid**;** **PUFA**, polyunsaturated fatty acid**;USFA**, unsaturated fatty acid.

جدول ۲- مقادیر عدد پراکسید در تیمارهای مختلف طی دوره حرارت‌دهی (میلی‌اکی‌والان اکسیژن فعال بر کیلوگرم)

Table 2- Peroxide values in different samples during heating period (meqO_2/kg)

Treatment	Frying time (h)			
	1	4	7	10
Sunflower oil	2.74 ± 0.18^{Ad}	5.15 ± 0.19^{Bb}	4.54 ± 0.14^{Cc}	7.29 ± 0.28^{Aa}
Soybean oil	2.76 ± 0.17^{Ad}	6.73 ± 0.19^{Ab}	6.05 ± 0.07^{Ac}	7.27 ± 0.09^{Aa}
Canola oil	1.65 ± 0.06^{Bd}	3.24 ± 0.27^{Dc}	5.96 ± 0.08^{Ba}	5.12 ± 0.13^{Bb}
Frying oil	1.66 ± 0.10^{Bd}	3.72 ± 0.25^{Cc}	4.26 ± 0.08^{Db}	4.96 ± 0.17^{Ba}

1- Values represent the means of three replications ±SD.

2- Means with different letters (A, B, C,...) within a column (oil type) indicate significant differences ($P<0.05$)

3- Means with different letters (a, b, c,...) within a row (frying time) indicate significant differences ($P<0.05$)

عدد آنیزیدین طی مدت حرارت‌دهی

نتایج مربوط به مقادیر عدد آنیزیدین در تیمارهای مختلف طی زمان حرارت‌دهی در (جدول ۳) آورده شده

است. با توجه به نتایج آنالیز آماری، باگذشت زمان مقادیر عدد آنیزیدین در تمامی تیمارها به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($P<۰/۰۵$). نتایج آنالیز آماری در ارتباط با تیمارهای مختلف نسبت به هم نشان داد در اکثر زمان-های حرارت‌دهی، بیشترین مقادیر عدد آنیزیدین در روغن سویا و کمترین مقادیر در روغن کانولا مشاهده شد ($P<۰/۰۵$).

در مطالعه قوامی و همکاران (۱۳۸۲) روی اثر سرخ کردن بر خصوصیات کیفی روغن در صنعت چیپس اشاره شد که پراکسیدها تحت شرایط سرخ کردن ناپایدارند و تجمع پیدا نمی‌کنند یا به‌سرعت تجزیه شده و ترکیبات فراری مانند آلدهیدها، کتون‌ها و اسیدهای چرب زنجیر کوتاه و ... را به‌وجود می‌آورند. عدد آنیزیدین میزان آلدهیدهای آلفا و بتا غیراشباع موجود در روغن را اندازه‌گیری می‌کند. همچنین عدد آنیزیدین اکسیداسیون ثانویه یا وقایعی که در روغن رخ‌داده را نشان می‌دهد و برای تعیین کیفیت روغن خام و راندمان فرایندهای صورت گرفته بر روی روغن بسیار مفید است (اوبرین ۲۰۰۸). با توجه به اینکه عدد پراکسید معمولاً برای جستجوی تخریب اکسیداتیو در روغن یا چربی مفید است ولی در مورد سرخ کردن عمیق در مدت طولانی دقیق نیست، به‌علت اینکه حین فرایند سرخ کردن، پراکسیدها در دمای بالا تخریب می‌شوند و پس از سرد شدن روغن دوباره تشکیل می‌گردند. در مقابل عدد آنیزیدین مانند عدد پراکسید محصولات اولیه را اندازه-گیری نمی‌کند بلکه محصولات ثانویه حاصل از اکسیداسیون را مورد اندازه‌گیری قرار می‌دهد (ماتیوس ۲۰۰۶). هرچه میزان اندیس آنیزیدین پایین‌تر باشد نشان‌دهنده این است که اکسیداسیون کمتر صورت گرفته است. در مطالعه مولودی و همکاران (۱۳۹٤) که خصوصیات شیمیایی و اکسایشی روغن‌های زیتون فرا بکر وارداتی را مورد بررسی قرار دادند، گزارش شد، روغنی که دارای اسید چرب چند غیراشباعی بالاتری بود نسبت به انواع دیگر روغن‌ها سریعاً مورد اکسیداسیون قرار گرفت و به ترکیبات ثانویه تبدیل شد و همچنین بیشترین عدد آنیزیدین را داشت. نتایج به‌دست آمده در مطالعه هوهولا و همکاران در سال (۲۰۰۲) نشان داده که مقادیر ترکیبات قطبی، دی‌ان‌های مزدوج و عدد آنیزیدین به‌صورت خطی با افزایش زمان سرخ کردن در یک دمای ثابت افزایش یافتند. افزایش خطی آنیزیدین نشان می‌دهد که تجمع آلدهیدها در روغن نیز افزایش خطی دارد.

جدول ۳- مقادیر عدد آنیزیدین در تیمارهای مختلف طی دوره حرارت‌دهی

Table 3- Anisidine values of different samples during heating period

Treatment	Frying time (h)			
	1	4	7	10
Sunflower oil	11.30 ± 0.24^{Bd}	17.87 ± 0.99^{Ac}	21.24 ± 1.01^{Bb}	27.56 ± 0.76^{Ba}
Soybean oil	13.26 ± 0.70^{Ad}	18.71 ± 1.10^{Ac}	29.51 ± 0.50^{Ab}	32.22 ± 0.59^{Aa}
Canola oil	8.06 ± 0.88^{Cd}	12.32 ± 0.30^{Cc}	17.51 ± 0.73^{Cb}	19.33 ± 0.49^{Da}
Frying oil	8.72 ± 0.50^{Cc}	16.21 ± 0.72^{Bb}	17.17 ± 0.32^{Cb}	22.53 ± 1.28^{Ca}

1- Values represent the means of three replications ±SD.
2- Means with different letters (A, B, C,...) within a column (oil type) indicate significant differences ($P<0.05$)
3- Means with different letters (a, b, c,...) within a row (frying time) indicate significant differences ($P<0.05$)

مقادیر اندیس توتوکس طی مدت حرارت‌دهی

نتایج مربوط به مقادیر اندیس توتوکس در تیمارهای مختلف طی زمان حرارت‌دهی در (جدول ٤) آورده شده

است. با توجه به نتایج آنالیز آماری، باگذشت زمان مقادیر اندیس توتوکس در تمامی تیمارها به‌طور معنی-داری افزایش یافت (P<۰/۰۵). نتایج آنالیز آماری در ارتباط با تیمارهای مختلف نسبت به هم نشان داد در اکثر زمان‌های حرارت‌دهی بیشترین مقادیر اندیس توتوکس در تیمار روغن سویا و کمترین مقادیر در روغن کانولا مشاهده شد (P<۰/۰۵). عدد پراکسید و عدد آنیزیدین نشان‌دهنده میزان واکنش‌های اکسیداسیون در مرحله ابتدایی و انتهایی فرایند هستند. در واقع عدد توتوکس میزان پراکسیدها و محصولات تجزیه شده آن‌ها را هم‌زمان اندازه‌گیری می‌کند و تخمین بهتری از پیشرفت تخریب اکسیداتیو روغن‌ها و چربی‌ها را ارائه می‌کند (شهیدی ۲۰۰۵). مطابق نتایج به‌دست آمده از محاسبه عدد توتوکس، نسبت اکسیداسیون روغن‌های مورد مطالعه به شرح زیر بود.

سویا > آفتابگردان > سرخ‌کردنی > کانولا

بر اساس نتایج استخراج‌شده از آنالیز پروفایل اسیدهای چرب و تخمین میزان فسادپذیری روغن‌های مورد مطالعه و مطابقت آن با نتایج حاصل از آزمایش‌های اندازه‌گیری عدد پراکسید و عدد آنیزیدین و محاسبه عدد توتوکس (مجموع میزان فساد اکسیداتیو)، بین نوع اسیدهای چرب و مقادیر اسیدهای چرب چند غیراشباعی با میزان تولید ترکیبات حاصل از اکسیداسیون اسیدهای چرب رابطه مستقیم وجود دارد.

جدول ۴- مقادیر عدد توتوکس در تیمارهای مختلف طی دوره حرارت‌دهی

Table 4- Totox values of different samples during heating period

Treatment	Frying time (h)			
	1	4	7	10
Sunflower oil	16.78 ± 0.20^{Bd}	28.16 ± 1.34^{Bc}	30.33 ± 1.28^{Bb}	42.14 ± 1.01^{Ba}
Soybean oil	18.72 ± 0.88^{Ad}	32.18 ± 0.91^{Ac}	41.06 ± 0.37^{Ab}	46.76 ± 048^{Aa}
Canola oil	11.37 ± 0.89^{Cd}	18.79 ± 0.27^{Dc}	29.43 ± 0.60^{Bb}	29.57 ± 0.33^{Da}
Frying oil	12.04 ± 0.70^{Cc}	23.65 ± 1.20^{Cb}	25.69 ± 0.48^{Cb}	32.45 ± 1.02^{Ca}

1- Values represent the means of three replications ±SD.
2- Means with different letters (A, B, C,..) within a column (oil type) indicate significant differences (P<0.05)
3- Means with different letters (a, b, c,..) within a row (frying time) indicate significant differences (P<0.05)

تشکیل آکریل‌آمید طی مدت حرارت‌دهی

نتایج مربوط به مقادیر آکریل‌آمید در تیمارهای مختلف طی زمان حرارت‌دهی در (جدول ۵) آورده شده است. با توجه به نتایج آنالیز آماری، با گذشت زمان مقادیر آکریل‌آمید در تمامی تیمارها به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (P<۰/۰۵). نتایج آنالیز آماری در ارتباط با تیمارهای مختلف نسبت به هم نشان داد در اکثر زمان-های حرارت‌دهی بیشترین مقادیر آکریل‌آمید در تیمار روغن سویا و کمترین مقادیر در روغن کانولا مشاهده شد (P<۰/۰۵). در تحقیقات مشابه که توسط لیم و همکاران (۲۰۱٤) صورت گرفت، با عنوان تأثیر سرخ کردن با استفاده از روغن‌های مختلف بر تشکیل آکریل آمید در چیپس سیب‌زمینی شیرین، تأثیر چهار نوع روغن شامل: روغن پالم، روغن نارگیل، روغن کانولا و روغن سویا را بر روی تشکیل آکریل‌آمید در سیب‌زمینی شیرین مورد بررسی قرار دادند که بر اساس نتایج به-دست آمده در این تحقیق میزان تولید آکریل‌آمید در سیب‌زمینی شیرین که به‌وسیله روغن سویا سرخ شده بود بالاترین میزان (۲۰۱۹µg/kg) و پس از آن به‌ترتیب روغن نارگیل (۱۷۲۲µg/kg)، روغن کانولا (۱۷۱۱µg/kg) و کمترین میزان مربوط به روغن پالم (۱٤٤۳µg/kg) بود. در این تحقیق مشخص شد که روغن‌هایی که دارای

اسیدهای چرب غیراشباع بیشتری می‌باشند مانند روغن سویا و کانولا به‌دلیل قابلیت بالای اکسید شدن آکریل-آمید بیشتری نسبت به روغن پالم که اشباع‌تر است تولید می‌نمایند. همچنین علت احتمالی تولید میزان آکریل‌آمید بالا در روغن نارگیل با توجه به اشباعیت بالای آن وجود اسیدهای چرب آزاد اعلام گردیده است. نتیجه حاصل از این تحقیق تأثیرگذاری انواع روغن مورد مطالعه بر تشکیل آکریل‌آمید در محصول سرخ شده سیب‌زمینی بود، همچنین نتایج نشان داد که رابطه مستقیم بین افزایش زمان سرخ کردن و افزایش میزان آکریل‌آمید وجود داشت. بختیاری و همکاران (۲۰۱۳) تأثیر نوع روغن بر تشکیل آکریل‌آمید در سیب‌زمینی سرخ شده از روغن‌های کلزا، پالم اولئین و ترکیبی از این دو را بررسی نمودند. آن‌ها برای انجام آزمون از برش-های سیب‌زمینی گونه آگریا که در روغن کلزا، پالم اولئین و ترکیب این دو روغن به نسبت ۵۰:۵۰ (v:v٪) در دمای ۱۸۰°C به‌مدت ٤/۱۵ دقیقه سرخ نمودند. اندازه-گیری میزان آکریل‌آمید به‌وسیله GC-ECD صورت پذیرفت. مقادیر آکریل‌آمید در نمونه‌های سیب‌زمینی سرخ شده در هر یک از انواع روغن به‌طور قابل ملاحظه-ای متفاوت بودند (P<۰/۰۵). بیشترین میزان آکریل‌آمید ۱۱٤۰ppb در نمونه سرخ شده در روغن پالم اولئین و کمترین میزان آن در روغن کلزا ۸٦۰ppb بود. همچنین میزان آکریل‌آمید در نمونه‌های سرخ شده داخل روغن مخلوط ۹۲۵ppb بود. در این تحقیق اعلام شد که علت این تفاوت در پایداری اکسیداتیو حرارتی بالاتر روغن کلزا در مقایسه با روغن پالم اولئین و مخلوط این دو است. بر اساس نتایج حاصله، نوع روغن سرخ‌کردنی فاکتور مؤثری در تشکیل آکریل‌آمید در محصولات سیب‌زمینی سرخ شده است و همچنین انتخاب نوع روغنی که به‌صورت طبیعی دارای پایداری اکسیداتیو حرارتی بالاتری باشد می‌تواند موجب کاهش تشکیل آکریل‌آمید گردد. در تحقیق مرتبط با تأثیر اکسیداسیون روغن بر تشکیل آکریل‌آمید، کاپوآنو و همکاران (۲۰۱۰) با موضوع اکسیداسیون چربی تشکیل آکریل‌آمید در سیستم‌های غذایی غنی از چربی را افزایش می‌دهد، به بررسی تأثیر میزان اکسیداسیون بر تشکیل آکریل‌آمید توسط اعمال حرارت در سیستم‌های غذایی غنی از چربی پرداخته است. نتایج تحقیق نشان داد که اکسیداسیون چربی تأثیر مثبتی در تشکیل آکریل‌آمید دارد. تأثیر آن زمانی روشن‌تر گردید که در سیستم غذایی بدون قند، روغن منبع اصلی کربونیل بود.

جدول ۵- مقادیر آکریل‌آمید سیب‌زمینی سرخ شده در شرایط مختلف (میکروگرم بر کیلوگرم)

Table 5- Acrylamide contents in fried potatoes under different condition (µg/kg)

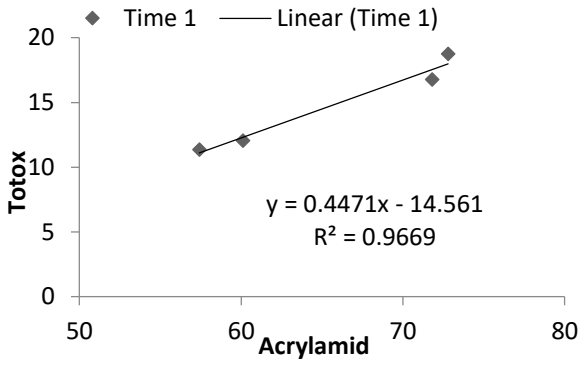
Treatment	Oil heated in different times (h)			
	1	4	7	10
Sunflower oil	71.80±1.55Ad	285.31±8.80Bc	692.03±5.25Bb	963.34±1.01Ba
Soybean oil	72.80±0.78Ad	301.98±10.53Ac	792.81±5.37Ab	1055.51±29.75Aa
Canola oil	57.40±1.39Cd	143.27±5.58Dc	320.40±4.64Cb	394.06±3.57Da
Frying oil	60.11±0.51Bd	190.82±1.24Cc	340.21±33.97Cb	464.99±12.28Ca

1- Values represent the means of three replications ±SD.
2- Means with different letters (A, B, C,...) within a column (oil type) indicate significant differences (P<0.05)
3- Means with different letters (a, b, c,...) within a row (frying time) indicate significant differences (P<0.05)

تأثیر عدد توتوکس بر میزان آکریل‌آمید

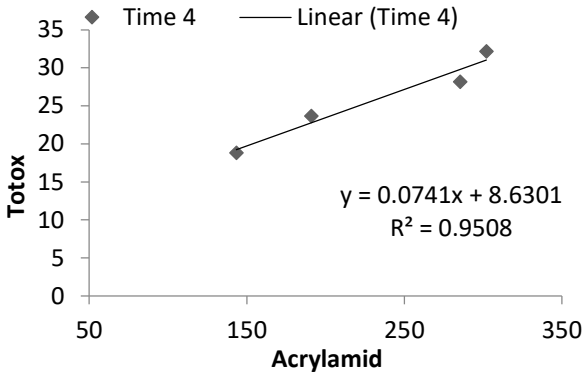
ضریب همبستگی مقادیر توتوکس و آکریل‌آمید در زمان‌های مختلف حرارت‌دهی به‌ترتیب در شکل‌های ۱، ۲،

۳و ٤ آورده شده است. ضریب همبستگی مقادیر توتوکس و آکریل‌آمید در زمان‌های مختلف حرارت‌دهی به‌ترتیب در ساعت اول حرارت‌دهی (R^2=0.967)، در ساعت چهارم حرارت‌دهی (R^2=0.95)، بعد از گذشت ۷ ساعت (R^2=0.646) و در ساعت دهم حرارت‌دهی برابر (R^2=0.98) بود که نشان می‌دهد مقادیر توتوکس و آکریل‌آمید همبستگی بالایی نسبت به هم داشتند و در واقع مقادیر توتوکس تأثیری مستقیم بر مقادیر آکریل-آمید داشت.



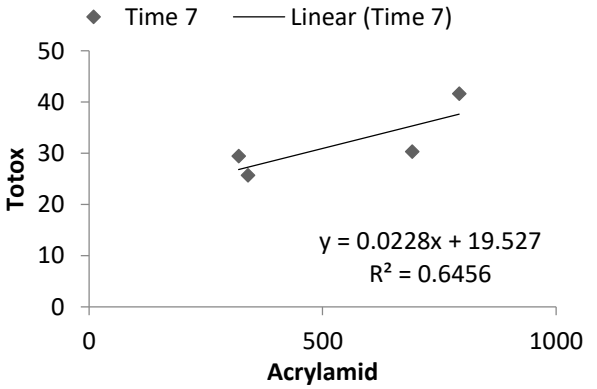
شکل ۱- همبستگی مقادیر آکریل‌آمید و توتوکس در ساعت اول

Figure 1- Totox and Acrylamide correlation after heating for 1 h.



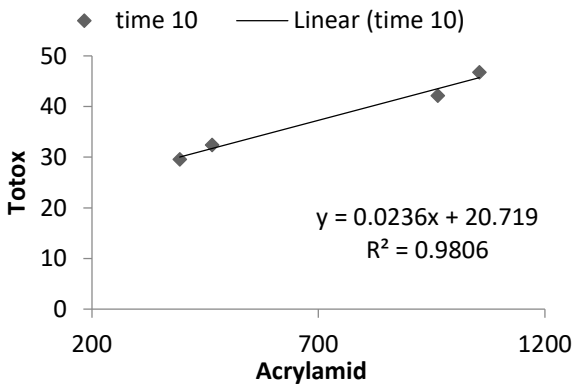
شکل ۲- همبستگی مقادیر آکریل‌آمید و توتوکس در ساعت چهارم

Figure 2- Totox and Acrylamide correlation after heating for 4 h.



شکل۳- همبستگی مقادیر آکریل‌آمید و توتوکس در ساعت هفتم

Figure 3- Totox and Acrylamide correlation after heating for 7 h



شکل۴-همبستگی مقادیر آکریل‌آمید و توتوکس در ساعت دهم

Figure 4- Totox and Acrylamide correlation after heating for 10 h

نتیجه‌گیری کلی

نوع اسیدهای چرب بر اکسیداسیون روغن‌ها مؤثر بوده و با افزایش اسیدهای چرب غیراشباع و نیز افزایش تعداد باند دوگانه در آن‌ها شدت اکسیداسیون افزایش می‌یابد. در اثر اکسیداسیون روغن‌ها ترکیباتی در روغن تولید می‌شوند که شامل محصولات اولیه اکسیداسیون روغن (هیدروپراکسیدها) و در پی آن با گذشت زمان و ادامه حرارت‌دهی محصولات اولیه تخریب شده و تبدیل به محصولات ثانویه اکسیداسیون مانند، آلدهیدها، کتون‌ها و دیگر محصولات می‌گردند. نتایج عدد توتوکس نمایانگر میزان کل اکسیداسیون در یک نوع روغن است. محصولات ثانویه تولید شده در روغن می‌توانند به پیش-سازهای آکریل‌آمید در ماده غذایی بدون حضور قندها

تبدیل شوند و با افزایش تولید این محصولات میزان آکریل‌آمید بیشتری تشکیل شود. نمونه‌های سیب‌زمینی سرخ شده در روغن سویا نسبت به نمونه‌های دیگر در اکثر زمان‌های حرارت‌دهی آکریل‌آمید بیشتری داشتند. وقتی نتایج مقادیر آکریل‌آمید مربوط به نمونه‌های سیب-زمینی با مقادیر عدد توتوکس مورد ارزیابی قرار گرفت مشخص گردید بین نتایج حاصله، همبستگی وجود دارد که این واقعیت نشان می‌دهد، روغنی که بالاترین میزان اکسیداسیون را داشت، بالاترین مقادیر آکریل‌آمید را تولید نمود. همچنین کمترین میزان آکریل‌آمید مربوط به نمونه سرخ شده در روغن کانولا بود که کمترین عدد توتوکس را داشت. در موارد دیگر نیز نتایج عدد توتوکس با نتایج آکریل‌آمید همبستگی داشتند. بنا بر نتایج حاصله، نوع روغن و طول مدت حرارت‌دهی بر تشکیل آکریل‌آمید در سیب‌زمینی سرخ شده تأثیرگذار بود.

منابع مورد استفاده

بختیاری د، ۱۳۹٤. بررسی نقش روغن‌های پالم اولئین، آفتابگردان و حالت تلفیقی بر میزان تولید آکریل‌آمید در چیپس سیب‌زمینی. فرآوری و تولید مواد غذایی، ۵(٤)، ۱۰-۱.

بیکی ح و همدمی ن، ۱۳۹۵. تأثیر آنزیم بری، پیش خشک کردن و شرایط سرخ کردن بر روی خصوصیات کیفی خلال سیب‌زمینی سرخ شده. نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی، ۲٦(۱)، ۱۸۷-۱۷۷.

جمشیدیان م و ماهرانی ب، ۱۳۹۰. تعیین میزان آکریل‌آمید در انواع چیپس‌های سیب‌زمینی تولیدی ایران با روش گاز کروماتوگرافی- طیف سنج جرمی. علوم غذایی و تغذیه، ۹(۱)، ۱٤-۵.

سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۹٦. روغن‌ها و چربی‌های گیاهی و حیوانی- اندازه‌گیری مقدار پراکسید-روش یدومتری با تعیین نقطه پایانی به روش چشمی. استاندارد ملی ایران، ٤۱۷۹.

سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۹۵. روغن‌ها و چربی‌های گیاهی و حیوانی- اندازه‌گیری عدد آنیزیدین-روش آزمون. استاندارد ملی ایران، ٤۰۹۳.

سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۹٤. روغن‌ها و چربی‌های گیاهی و حیوانی-کروماتوگرافی گازی متیل استرهای اسید چرب -قسمت ۲: تهیه متیل استرهای اسیدهای چرب. استاندارد ملی ایران، ۲-۱۳۱۲٦.

سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۹٤. روغن‌ها و چربی‌های گیاهی و حیوانی-کروماتوگرافی گازی متیل استرهای اسید چرب -قسمت ٤: اندازه‌گیری با کروماتوگرافی گازی موئینه. استاندارد ملی ایران، ٤-۱۳۱۲٦.

مولودی ف، قجربیگی پ، حاج حسینی بابایی الف و محمدپور اصل الف،۱۳۹٤. ارزیابی خصوصیات شیمیایی و اکسایشی روغن‌های زیتون فرابکر وارداتی. علوم غذایی و تغذیه، ۱۲، ۳٤-۲۷.

قوامی م، قراچورلو م و عزت پناه ح، ۱۳۸۲. اثر سرخ کردن بر خصوصیات کیفی روغن استفاده‌شده در صنعت چیپس سیب‌زمینی. علوم کشاورزی، ۹، ۱۵-۱.

نواب دانشمند ف و قوامی م،۱۳۹۰. بررسی اثر دما و زمان بر تولید و شکست هیدروپراکسیدها در روغن‌های کانولا و سویا. علوم غذایی و تغذیه، ۹، ۷۲-٦۱.

Akoh CC & Min DB, 2008. Food Lipids: Chemistry, Nutrition and Biotechnology. CRC Press.

Bakhtiary D, Asadollahi S & Ardakani SAY, 2013. Determination of the amount of Acrylamide Formation during Frying of Potato in Sesame Oil, Palm Olein and the blend of them. International Journal of Engineering Research and Application 3(6): 210-214.

Capuano E, Oliviero T, Acar OC, Gokmen V & Fogliano V, 2010. Lipid oxidation promotes acrylamide formation in fat-rich model systems. Food Research International 43: 1021-1026.

Choe E & Min DB, 2007. Chemistry of deep-fat frying oils. Journal of Food Science 72(5): R77-R86.

Dunford NT, 2015. Oxidative Stability of Sunflower Seed Oil. Pp. 465-490. In: Martinez-Force E, Dunford NT & Salas JJ (eds). Sunflower: Chemistry, Production, Processing, and Utilization. Elsevier.

FAO/WHO, 2002. Health Implications of Acrylamide in Food: Report of a Joint FAO/WHO Consultation. World Health Organization.

Gunstone F, 2011. Vegetable oils in food technology: composition, properties and uses. John Wiley & Sons.

Halford NG & Curtis T, 2019. Acrylamide In Food. World Scientific Publishing Company.

Hogervorst JG, Schouten LJ, Konings EJ, Goldbohm RA & Van den brandt PA, 2007. A prospective study of dietary acrylamide intake and the risk of endometrial, ovarian, and breast cancer. Cancer Epidemiology and Prevention Biomarkers 16(11): 2304-2313.

Houhoula DP, Oreopoulou V & Tzia C, 2002. A kinetic study of oil deterioration during frying and a comparison with heating. Journal of the American Oil Chemists Society 79(2): 133-137.

IARC, 1994. Monographs on the Evaluation of Carcinogen Risk to Humans: Some Industrial Chemicals. World Health Organization.

Keramat J, Lebail A, Prost C & Soltanizadeh N, 2011. Acrylamide in foods: chemistry and analysis: A review. Food and Bioprocess Technology 4: 340-363.

Kita A & Lisinska G, 2005. The influence of oil type and frying temperatures on the texture and oil content of French fries. Journal of the Science of Food and Agriculture 85: 2600-2604.

Kotsiou K, Tasioula margari M, Fiore A, Gokmen V & Fogliano V, 2013. Acrylamide formation and colour development in low-fat baked potato products as influenced by baking conditions and oil type. European Food Research and Technology 236: 843-851.

Krishnakumar T & Visvanathan R, 2014. Acrylamide in food products: A review. Journal of Food Processing and Technology 5(7).

Lim PK, Jinap S, Sanny M, Tan CP & Khatib A, 2014. The influence of deep frying using various vegetable oils on acrylamide formation in sweet potato (Ipomoea batatas L. Lam) chips. Journal of Food Science 79(1): T115-T121.

Matthäus B, 2006. Utilization of high-oleic rapeseed oil for deep-fat frying of French fries compared to other commonly used edible oils. European Journal of Lipid Science and Technology 108: 200-211.

Mucci L, Dickman P, Steineck G, Adami H & Augustsson K, 2003. Dietary acrylamide and cancer of the large bowel, kidney, and bladder: absence of an association in a population-based study in Sweden. British Journal of Cancer 88: 84-89.

Notardonato I, Avino P, Centola A, Cinelli G & Russo MV, 2013. Validation of a novel derivatization method for GC–ECD determination of acrylamide in food. Analytical and Bioanalytical Chemistry 405: 6137-6141.

O'brien RD, 2008. Fats and oils: formulating and processing for applications. CRC Press.

Shahidi F, 2005. Bailey's Industrial Oil and Fat Products, Edible Oil and Fat Products: Processing Technologies. John Wiley & Sons.

Journal of Food Researches/vol.31 No.4 2021/pp 155-168
https://foodresearch.tabrizu.ac.ir
DOI: 10.22034/FR.2021.42255.1767

The effect of oil type on the formation of acrylamide in french fries

M Ashouri[1], M Gharachorloo[2*] and M Honarvar[3]

Received: October 14, 2020 Accepted: January 9, 2021
[1]MSc Graduated, Department of Food Science and Technology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
[2]Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
[3]Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
[*]Corresponding author: Email: m_gharachorlo@srbiau.ac.ir

Introduction: Acrylamide, also known as acrylic amide and prop-2-enamide, is a white, odorless, crystalline, water-soluble solid, with the chemical formula (C_3H_5NO) and relative molecular mass of (71.08). Acrylamide is classified by the International Agency for Research on Cancer (IARC) as a probable human carcinogen. Acrylamide is formed in some foods such as potato chips, French fries, and toast due to heating. French fries are one of the most popular products in the world; their texture characteristics and special taste are attractive to customers. The sensory attributes of French fries depend both on the raw material and technological parameters used for French fries production. A factor affecting the flavor and texture of French fries is the frying (temperature, time, and type of frying oil). They are widely consumed among teenagers and young people in the community, which makes this age group more exposed to the dangers of acrylamide. The major pathway leading to acrylamide formation in foods is a part of the Maillard reaction with free amino acid (Asparagine) and reducing sugars through the decarboxylation of the Schiff base in a Strecker-type reaction. Although the formation of acrylamide in foods has its major routes through asparagine and reducing sugars, several other formation routes are suggested via Acrolein and ammonia. Oil is one of the most important components in the preparation of French fries due to its heat transfer and effects on taste. Due to the use of oil at high temperatures for a long time, the deteriorative chemical processes of hydrolysis, oxidation, and polymerization occur. Finally, various compounds such as aldehydes, epoxides, hydroxy ketones, and decarboxylated compounds are formed; these compounds can be reacting with amino acids. Therefore, these compounds may react with the asparagine in potatoes and increase the concentration of acrylamide in fried potato products.
Material and methods: 15 kg of Agria potatoes were prepared from the (SPI) Institute. Four kinds of oil (Sunflower oil, frying oil, and canola oil) were purchased from a chain store and soybean oil prepared from Korosh food industries. 1.5 liters of oil were poured into the fryer, the temperature reached 180°C and, stabilized. After 1 hour, 200 g of sliced potatoes (2×2×2 cm) was poured into the hot oil. Frying time was 5 min. Heated oil and fried potatoes were sampled for testing. The fryer remained on at 180°C. After 3 hours, the second sample of raw potatoes was fried for 5 min. The third and fourth samples were prepared 3 hours apart. GC-ECD method was used for acrylamide measurement. 2 g of sample and 20 ml of distilled water were poured into the Falcon tube. Then 3 ml of Carrez I, II solution was added to the solution and centrifuged at 5000 rpm. The water layer was discarded. Then 2 ml of hexane was added. The solution was centrifuged again. The hexane layer was discarded. 10 ml of the remaining solution was extracted with potassium bromide, bromic acid, and bromine water and injected into the GC. The fatty acid profile test was performed by

ISIRI 13126 2 & 4 methods. ISIRI 4093 was used as a method for Peroxide value measurement. Anisidine and totox values are determined by methods defined in ISIRI 4093 was calculated by the ISIRI 4093 method. Data were verified by ANOVA variance analysis.

Results and discussion: According to the obtained results, values of total monounsaturated fatty acids are canola oil (%65.74), frying oil (%39.32), sunflower oil (%23.11), and soybean oil (%22.00). Also total polyunsaturated fatty was determined 65.41, 61.04, 26.21 and 43.99% for sunflower, soybean, canola and frying oils respectively. Oils containing polyunsaturated fatty acids (PUFAs) have less resistant to oxidation than monounsaturated fatty acids (MUFAs). Oxidative stability decreases with increasing number of double bonds. Accordingly, oleic acid has the highest thermal stability among unsaturated fatty acids, followed by linoleic acid and the lowest stability of linolenic acid. The results of peroxide, anisidine, and totox values determination showed that changes in these factors are affected by time ($P<0.05$). At most heating times, the highest values of peroxide were observed in soybean oil, and the lowest values were observed in frying oil ($P<0.05$). In all treatments by increasing of heating time, the amounts of anisidine and totox values increased significantly ($P<0.05$). The results of statistical analysis of different treatments indicated that in most heating times, the highest levels of anisidine and totox values and the lowest values were observed in soybean oil and canola oil respectively. Increased Peroxide value indicates that the level of the primary lipid oxidation products increased, which resulted in the formation of hydroperoxides. Peroxide and anisidine values indicate the rate of oxidation reactions at the beginning and the end of the process. In fact, the totox values simultaneously measures the amount of peroxides and their degraded products and provides a better estimate of the progress of oxidative degradation of oils and fats. Based on the results obtained from calculate of the totox value, the oxidation ratio of the studied oils was as follows: Soybean oil > Sunflower oil > Frying oil > Canola oil. According to the results, by increasing of heating time, the amounts of acrylamide in all treatments increased significantly ($P<0.05$). Therefore, the highest amounts of acrylamide were obtained in soybean oil and the lowest values were observed in canola oil ($P<0.05$). The correlation coefficient between totox value and acrylamide at different heating time was as follows: In the first hour of heating ($R^2 = 0.967$), in the fourth hour of heating ($R^2 = 0.95$), after 7 hours ($R^2 = 0.646$) and in the tenth hour of heating was equal ($R^2 = 0.98$), respectively. It shows that the levels of totox and acrylamide had a high correlation with each other and in fact the values of totox had a direct effect on the values of acrylamide.

Conclusion: The amounts of unsaturated fatty acids are effective in the oxidation of oils, and this effect is mostly due to double bonds. Oxidation of oils produces primary oxidation (hydroperoxides) that are degraded and secondary oxidation products such as aldehydes, ketones, and other might be produced. Secondary oxidation products in oil might be converted to acrylamide precursors in food without the presence of sugars, and by increasing the production of these products, more acrylamide might be formed. The results of this study showed that there is a high correlation between acrylamide in fried potato samples with the totox values in the oils. Therefore, the type of oil and heating duration influenced on formation of acrylamide in French fries.

Keywords: Acrylamide, Anisidine value, Fatty acid, Oxidation, Peroxide value, Totox value