JRIFST
مقالهٔ کامل پژوهشی

www.journals.rifst.ac.ir
نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی
سال ۱۳۹۷، جلد ۷، شماره ۱، صفحات ۱۲-۱
Doi:10.22101/JRIFST.2018.05.19.711

تأثیر روغن‌کنجد و مواد صابونی‌ناشوندهٔ آن در کاهش آکریل‌آمید برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده

زهرا کشاورز[۱]، راضیه نیازمند[۲*]، اکرم آریان‌فر[۳]

۱- دانش آموختهٔ کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد قوچان، دانشگاه آزاد اسلامی، قوچان، ایران
۲- استادیار، گروه شیمی مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران
* نویسندهٔ مسئول (r.niazmand@rifst.ac.ir)
۳- باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد قوچان، دانشگاه آزاد اسلامی، قوچان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۷/۰۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۵/۲۰

واژه‌های کلیدی
آکریل‌آمید
روغن‌کنجد
سیب‌زمینی
مواد صابونی‌ناشونده

چکیده

انتخاب روغن مناسب یکی از مهم‌ترین عواملی است که بر کیفیت محصولات سرخ‌شده تأثیر می‌گذارد. هدف از این تحقیق کاهش میزان آکریل‌آمید و جذب روغن برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده با استفاده از اثر آنتی‌اکسیدانی روغن‌کنجد (غلظت‌های ۱ و ۲ درصد، وزنی/وزنی) و مواد صابونی‌ناشوندهٔ آن (غلظت‌های ۰/۰۲ و ۰/۰۴ درصد، وزنی/وزنی) در دمای ۱۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد بود. داده‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی و براساس آزمون توکی تجزیه‌وتحلیل شدند. نتایج حاکی از کاهش معنی‌دار جذب روغن و مقدار آکریل‌آمید همگام با افزایش درصد اختلاط روغن‌کنجد و مواد صابونی‌ناشوندهٔ آن بود ($P<۰/۰۵$) به‌طوری‌که کمترین میزان آکریل‌آمید مربوط به برش‌های سرخ‌شده در روغن سرخ‌کردنی حاوی مواد صابونی‌ناشوندهٔ ۰/۰۴ درصد بود که میزان آکریل‌آمید را در حدود ۶۱ درصد نسبت به نمونهٔ شاهد کاهش داد ($P<۰/۰۵$). همچنین بیشترین میزان رطوبت و کمترین میزان جذب روغن مربوط به برش‌های سرخ‌شده در روغن سرخ‌کردنی حاوی ۰/۰۴ درصد مواد صابونی‌ناشونده بود که ۳۰/۸ درصد میزان رطوبت را نسبت به نمونهٔ شاهد افزایش و ۴۵/۹ درصد میزان جذب روغن را نسبت به نمونهٔ شاهد کاهش داد ($P<۰/۰۵$).

مقدمه

سرخ‌کردن مواد غذایی به‌دلیل ایجاد خواص حسی منحصربه‌فرد امروزه به‌طور وسیعی در سطوح صنعتی و خانگی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به کمک این روش آماده‌سازی مادهٔ غذایی با طعم دلپذیر، بافت ترد و ظاهر طلایی مطلوب تولید می‌شود (Orthoefer *et al.*,1996). هنگام سرخ‌کردن عمیق، در حضور اکسیژن و رطوبت ناشی از مادهٔ غذایی، واکنش‌های اکسایشی و هیدرولیزی زیادی در روغن صورت‌گرفته و مواد نامطلوبی ایجاد می‌شوند که ضمن بروز آثار منفی بر طعم و رنگ محصول، سلامت انسان را نیز به خطر می‌اندازد (Innawong *et al.*, 2004). یکی از این مواد نامطلوب ایجاد آکریل‌آمید می‌باشد. به‌طورکلی حرارت‌دادن چربی‌ها در دماهای بالاتر از نقطهٔ دود و نیز دهیدراسیون گلیسرول سبب تولید کرولئین[۱] می‌گردد که این ترکیب به علت داشتن پیوند دوگانه بسیار فعال است و به راحتی اکسید می‌شود و اسیدآکریلیک تولید می‌کند. اسیدآکریلیک با آمونیاک واکنش می‌دهد و آکریل‌آمید تولید می‌کند که هرچه روغن غیراشباع‌تر باشد، نقطهٔ دود آن پایین‌تر بوده و آکریل‌آمید بیشتری تولید می‌کند (مرزبانی و صادقی، ۱۳۸۹). آکریل‌آمید یک آمید غیراشباع ($CH_2=CH-CONH_2$)

[1] Acrolein

است و به راحتی در واکنش‌های شیمیایی شرکت می‌کند. این ترکیب یک مادۀ جامد سفیدرنگ، با نقطۀ ذوب ۸۴/۵ درجۀ سانتی‌گراد، نقطۀ جوش بالا ۲۳۲ درجۀ سانتی‌گراد (۱۳۶ در ۲۵ میلی‌متر جیوه) و فشار بخار پایین (۰/۰۰۷ میلی‌متر جیوه در ۲۵ درجۀ سانتی‌گراد) می‌باشد. ازنظر حلالیت این ترکیب به‌خوبی در آب حل می‌شود (Stadler *et al.* 2000). آکریل‌آمید در صنعت به‌منظور تهیۀ پلی‌آکریل‌آمید تولید می‌شود جدا از کاربردهای بی‌شمار آکریل‌آمید این ترکیب به‌عنوان یک سم شناخته شده است که طیفی از مسمومیت‌ها را ایجاد می‌کند. ازجمله این آثار سوء می‌توان بر اثر مخرب آن بر اعصاب، قدرت باروری و احتمالات را تموتاژنیکی و سرطان‌زایی ازطریق تولید اپوکسیدان (گلیسیدآمید) اشاره کرد (Amrein *et al*, 2004). اهمیت آکریل‌آمید در مواد غذایی با بررسی انجام‌شده در سال ۲۰۰۲ میلادی در کشور سوئد مشخص شد. تا آن زمان آکریل‌آمید به‌عنوان یک سم صنعتی شناخته می‌شد (Amrein *et al*., 2003). بین سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۴ نیز اندازه‌گیری مقدار آکریل‌آمید در مواد غذایی دیگر ادامه یافت. در این اندازه‌گیری‌ها مشخص شد که علاوه‌بر غلات و محصولات آردی، محصولات سیب‌زمینی و قهوه، در محصولات خشک‌شده نیز میزان آکریل‌آمید بالاست. میزان دریافت آکریل‌آمید از مواد غذایی بسته به نوع رژیم غذایی دارد. ازسوی‌دیگر جذب روغن بالا در فراورده‌های سرخ‌شده عامل اصلی اضافه‌وزن و بیماری‌های قلبی در افراد شناخته شده است. همچنین مقدار بالاتر چربی در مواد غذایی سرخ‌شده، قیمت تمام‌شدۀ محصول را افزایش می‌دهد نتایج موسویان (۱۳۹۱) بیانگر این مطلب بود که افزودن مواد صابونی‌ناشوندۀ مغز بنه به روغن کانولا منجربه‌کاهش بیشتری در جذب روغن نمونه‌های سیب‌زمینی شد که مؤید افزایش پایداری روغن کانولا و خاصیت آنتی‌اکسیدانی قوی مواد صابونی‌ناشوندۀ مغز بنه می‌باشد.

با توسعۀ روزافزون صنایع تولید محصولات سرخ‌شدۀ سیب‌زمینی و مصرف بالای این محصولات در کشور، ضرورت بررسی راهکارهای کاهش این ترکیب در چیپس سیب‌زمینی احساس می‌شود، یکی از این راهکارها، مخلوط‌کردن روغن‌های سرخ‌کردنی با روغن‌هایی است که فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالایی دارند، مثل روغن‌های کنجد و سبوس برنج که به‌طور وسیعی برای این منظور به‌کار می‌روند. روغن‌کنجد به‌رغم سیر ناشدگی بالا از پایدارترین روغن‌های خوراکی است (Budowski & Markely, 1951; Namiki, 1995). پایداری اکسایشی بالای آن عمدتاً به حضور گروهی از ترکیبات لیگنانی (Fukuda *et al*., 1986) و میزان قابل ملاحظۀ ترکیبات توکوفرولی (۳۳۰ تا ۱۰۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) نسبت داده شده است، گاما–توکوفرول که قدرتمندترین آنتی‌اکسیدان در بین ایزومرها توکوفرول محسوب می‌شود (Lea & Ward, 1959)، بیشترین میزان توکوفرول‌های روغن‌کنجد را به خود اختصاص می‌دهد. سزامین[1] و سزامولین[2] از عمده‌ترین لیگنان‌های دانۀ خام کنجد بشمار می‌آیند (Hwang, 2005).

روغن‌های گیاهی عمدتاً از تری‌آسیل‌گلیسرول‌ها (۹۵ درصد) به همراه مقداری اسیدچرب آزاد، منوآسیل‌گلیسرول و دی‌آسیل‌گلیسرول تشکیل شده‌اند، این بخش از ترکیبات لیپیدی که با پتاس یا سود واکنش می‌دهند و به صابون محلول در آب تبدیل می‌شوند تحت عنوان بخش صابونی‌شوندۀ روغن‌ها خوانده می‌شوند (Shahidi, 2005). روغن‌های کنجد و سبوس برنج به‌ترتیب ۲ و دیگری ۳ تا ۴ درصد ترکیبات صابونی‌ناشونده دارند (Gunstone *et al.*, 2002). بسیاری از ترکیبات آنتی‌اکسیدانی مانند توکوفرول‌ها و توکوتری‌انول[3] روغن سبوس برنج، لیگنان‌های روغن‌کنجد، استرول‌ها و اسکوآلن[4]، بخش مهمی از ساختار ترکیبات غیرصابونی روغن‌های خوراکی را به خود اختصاص می‌دهند و اکسایش لیپیدی را با مکانیسم‌های مختلف به تأخیر می‌اندازند. ترکیبات موجود در مواد صابونی‌ناشوندۀ روغن‌کنجد از فعالیت آنتی‌اکسیدانی قابل توجهی برخوردارند و ازاین‌رو، آن را به‌عنوان منبع آنتی‌اکسیدانی معرفی کردند (Farhoosh *et al.*, 2009). ترکیبات موجود در مواد صابونی‌ناشوندۀ روغن‌کنجد از فعالیت آنتی‌اکسیدانی قابل توجهی برخوردار بوده ازاین‌رو، به‌عنوان منبع آنتی‌اکسیدانی معرفی شده‌اند. بررسی خواص فیزیکوشیمیایی روغن‌کنجد نشان داده است مقادیر ترکیبات لیگنانی، شامل استرول‌ها و اسکوالن‌ها بخش اعظمی از ترکیبات صابونی‌ناشوندۀ این روغن را شامل

[1] Sesamin
[2] Sesamolin
[3] Tocotrienol
[4] Squalene

می‌شود. محمدی و همکاران (۱۳۹۳)، دریافتند مخلوط کانولا/کنجد بدون اضافه‌کردن آنتی‌اکسیدان‌های سنتزی، پایداری اکسایشی بیشتری نسبت به روغن کانولا به‌تنهایی داشته و هرچه نسبت روغن‌کنجد بیشتر باشد این پایداری بیشتر است. در گزارشی دیگر، وقتی سزامول به‌تنهایی با روغن‌های نباتی ترکیب شد، پایداری روغن حاصله به‌طور جزئی افزایش یافت. اما این پایداری خیلی کمتر از پایداری بود که با افزودن عصارهٔ استخراج‌شده از روغن‌کنجد حاوی همان میزان سزامول به‌دست آمد. این نتایج نشان داد که عصارهٔ کنجد حاوی ترکیبات آنتی‌اکسیدانی دیگری علاوه‌بر سزامول است که در پایداری روغن‌ها شرکت می‌کنند (Kochhar *et al*, 2000). در گزارشی دیگر، افزودن ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ درصد مواد صابونی‌ناشوندهٔ روغن‌کنجد خام به اسیدلینولئیک و روغن پنبه‌دانه پایداری اکسایشی این روغن‌ها را به‌ترتیب در دمای ۶۰ و ۱۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد افزایش داد (توسلی‌کفرانی، ۱۳۸۹). فعالیت آنتی‌اکسیدانی بخش صابونی‌ناشوندهٔ روغن‌های گیاهی همچون پوست بنه[1] در شرایط سرخ‌کردن عمیق روغن‌آفتاب‌گردان بررسی شد و نشان داد این بخش به‌طور معنی‌داری فعال‌تر از آنتی‌اکسیدان سنتزی و قدرتمند ترسیوبوتیل هیدروکینون[2] بود (Farhoosh *et al.*, 2009).

Hedegaard و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی اثر افزودن عصارهٔ آبی با غلظت ۱ درصد رزماری، روغن‌رزماری و برگ خشک آن به خمیر آرد گندم دریافتند که میزان تشکیل آکریل‌آمید در نان حاصل از این خمیر کاهش یافته است. در پژوهش صورت‌گرفته توسط Zhang و همکاران (۲۰۰۸)، مشخص شد که با افزودن عصارهٔ چای‌سبز و برگ‌های بامبو در سیستم مدل آسپارژین ـ گلوکز در رطوبت پایین، میزان تشکیل آکریل‌آمید کاهش یافت.

Oua و همکاران (۲۰۱۰)، در بررسی اثر آنتی‌اکسیدان‌های TBHQ، بوتیل هیدروکسی آنیزول[3]، بوتیل هیدروکسی تولوئن[4]، اپی‌گالوکاتچین گالات[5] و اسیدآسکوربیک و همچنین محصولات حاصل از اکسایش این ترکیبات، دریافتند که آنتی‌اکسیدان‌های مذکور قادر به جلوگیری از تشکیل و حذف آکریل‌آمید نیستند، اما محصولات حاصل از اکسایش این ترکیبات با ممانعت از تشکیل ترکیبات کربونیل در روغن، مانع از تشکیل آکریل‌آمید و سبب حذف آن می‌شوند. بنابراین هدف از این پژوهش بررسی اثر آنتی‌اکسیدانی روغن‌کنجد و مواد صابونی‌ناشوندهٔ آن بر میزان تشکیل آکریل‌آمید و جذب روغن برش‌های سیب‌زمینی طی فرایند سرخ‌کردن عمیق می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه

سیب‌زمینی گونهٔ اگریا (جدول ۱) از بازار میوه‌وتره‌بار مشهد، روغن سرخ‌کردنی نینا و روغن‌کنجد از فروشگاه‌های محلی شهر مشهد تهیه گردید. الکل ۹۶ درصد، اتیل‌اتر، هگزان نرمال و سایر حلال‌ها و مواد شیمیایی با درجهٔ آزمایشگاهی از کالای طب تجهیزآوران شرق مشهد تهیه شد.

جدول ۱- ترکیبات شیمیایی سیب‌زمینی

ترکیبات	مقدار
میزان آب	۸۷-۶۳ درصد
مادهٔ خشک	۱۳-۳۷ درصد
کربوهیدرات	۳۰-۱۳ درصد
پروتئین	۶/۴-۰/۷ درصد
چربی	۹۶-۰/۰۲ درصد
فیبر	۳/۵-۰/۲ درصد
خاکستر	۲-۰/۴ درصد

آماده‌سازی مخلوط روغن

روغن سرخ‌کردنی نینا به‌عنوان محیط سرخ‌کردنی اصلی استفاده شد (شاهد). روغن‌کنجد در سطح ۱ و ۲ درصد و مواد صابونی‌ناشوندهٔ روغن‌کنجد به میزان ۰/۰۲ و ۰/۰۴ درصد به روغن سرخ‌کردنی اضافه شدند. مخلوط‌های مذکور به‌طور جداگانه آماده شدند.

استخراج مواد صابونی‌ناشونده روغن‌کنجد

۵ گرم روغن خام کنجد با ۵۰ میلی‌لیتر پتاس اتانولی ۱ نرمال در یک ارلن مخلوط شده و به مدت ۱ ساعت در دمای ۹۵ درجهٔ سانتی‌گراد قرار گرفت. پس از سردشدن، ۱۰۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر به مخلوط اضافه و در ادامه ۲

[1] Bene Hull Oil (BHO)
[2] Tert-butyle hydroquinone (TBHQ)
[3] Butylated Hydroxy Anisole
[4] Butylated Hydroxyl Toluene
[5] Epigallocatechin Gallate

مرتبه با بخش‌های ۱۰۰ میلی‌لیتری دی‌اتیل‌اتر عمل استخراج انجام گرفت. لایه‌های رویی جمع‌آوری گردیده و با ۷۵ میلی‌لیتر آب‌مقطر شسته شده و سپس ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول پتاس اتانولی ۰/۵ نرمال به آن اضافه و بعد از مخلوط‌کردن با ۱۰۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر شسته شد. لایهٔ رویی جدا و با سولفات سدیم بدون آب مخلوط شد و پس از صاف‌شدن در آون تحت خلأ در دمای ۴۵ درجهٔ سانتی‌گراد خشک گردید. برای تخلیص بیشتر، مواد صابونی‌ناشونده در کلروفرم حل شد و بعد از صاف‌شدن، کلروفرم در دمای ۴۵ درجهٔ سانتی‌گراد تحت خلأ تبخیر گردید (Lozano *et al.*,1993).

فرایند سرخ‌کردن

فرایند سرخ‌کردن در سرخ‌کن خانگی (Suny، مدل ۲۲۰-SDF، ساخت چین) با قابلیت تنظیم دما در ۳ محیط روغن سرخ‌کردنی (شاهد) و مخلوط روغن سرخ‌کردنی با روغن‌کنجد ۱ و ۲ درصد و مواد صابونی‌ناشوندهٔ ۰/۰۲ و ۰/۰۴ درصد صورت گرفت. برای اطمینان از یکنواختی دمای روغن قبل از سرخ‌کردن، روغن مورد استفاده ۱ ساعت قبل از سرخ‌کردن در دمای مورد نظر (۵± ۱۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد) حرارت داده شد. خلال‌ها به طول ۵ سانتی‌متر و قطر ۱ سانتی‌متر به مدت ۵ دقیقه سرخ شدند و در انتهای فرایند، بلافاصله از سرخ‌کن خارج و روغن اضافی سطح آنها با کاغذ جاذب گرفته شد و پس از خنک‌شدن، داخل فویل آلومینیومی پیچیده شده و تا زمان انجام آزمایش در فریزر ۱۸- درجهٔ سانتی‌گراد نگهداری شدند. عملیات سرخ‌کردن در ۲ تکرار صورت گرفت (Tyagi, 1996).

آزمون‌ها

مقدار رطوبت

اندازه‌گیری میزان رطوبت نمونه‌های سرخ‌شده مطابق استاندارد AACC (۱۹۸۶) با خشک‌کردن نمونه‌ها در آون (مدل ID 53، ساخت شرکت ایران خودساز) در دمای ۱۰۵ درجهٔ سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت انجام گرفت. نمونه‌ها پس از خروج از آون داخل دسیکاتور سرد شدند و میزان رطوبت بر مبنای نگهدارندگی رطوبت[1] از رابطهٔ (۱) محاسبه گردید (Zeng *et al.*, 2010).

رابطهٔ (۱)

نگهدارندگی رطوبت =
۱۰۰ * (۱-محتوای رطوبت شاهد/محتوای رطوبت تیمارها)

درصد جذب روغن

میزان روغن طبق استاندارد AOAC (۱۹۹۰) تعیین شد. نمونه‌های خشک‌شدهٔ مورد استفاده برای اندازه‌گیری میزان رطوبت ابتدا آسیاب و سپس ۵ گرم از آنها در کارتوش قرار گرفت و درنهایت استخراج روغن با استفاده از هگزان نرمال به مدت ۴ ساعت انجام گرفت. پس از استخراج، کارتوش‌های حاوی حلال به مدت ۱ روز در زیر هود قرار گرفتند تا رطوبت و باقی‌ماندهٔ حلال تبخیر شود. درصد جذب روغن بر مبنای وزن خشک از رابطهٔ (۲) محاسبه گردید (زمانی قلعه‌شاهی، ۱۳۹۰).

رابطهٔ (۲)

درصد جذب روغن=(W1-W2)/W1

در رابطهٔ (۲)، W1 و W2 به‌ترتیب وزن نمونه قبل از سوکسله‌گذاری و بعد از سوکسله‌گذاری می‌باشند.

آکریل‌آمید

آکریل‌آمید براساس روش Tarek و همکاران (۲۰۰۲) و Lehotay و همکاران (۲۰۰۶) با انجام اصلاحات لازم اندازه‌گیری شد. به‌این‌ترتیب که ۵/۶ گرم نمونه مطابق روش Lehotay و همکاران (۲۰۰۶) آماده‌سازی شد. به‌طور خلاصه، پس از افزودن ۵۰۰ نانوگرم بر گرم متاکریل‌آمید به‌عنوان استاندارد داخلی، ۵ میلی‌لیتر هگزان و سپس به نسبت مساوی آب‌مقطر و استونیتریل به آن اضافه شد و کاملاً مخلوط شد. آنگاه ۵ گرم مخلوط سولفات سدیم بدون آب و کلریدسدیم به آن افزوده، پس از سانتریفیوژشدن به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۴۵۰۰ دور در دقیقه لایهٔ استونیتریلی به‌طور کامل جداسازی شد سپس لایهٔ استونیتریلی جمع‌آوری شده، براساس روش Tarek و همکاران (۲۰۰۲) برومه شد. بدین‌منظور از پتاسیم بروماید، اسیدهیدروبرومیک و آب برم اشباع

[1] Water retention

استفاده شد. محلول حاصله به مدت ۱ شب در یخچال با دمای ۴ درجهٔ سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس برم اضافی با افزودن مقدار لازم تیوسولفات سدیم ۰/۷ مولار (چندقطره) بی‌رنگ شده و پس از افزودن سولفات سدیم، محلول حاصله توسط ۶۵ میلی‌لیتر اتیل‌استات، طی ۲ مرحله استخراج شد. فاز آلی حاصل پس از آب‌گیری توسط مقدار کافی سولفات سدیم، ابتدا به‌وسیلهٔ دستگاه تبخیرکنندهٔ چرخشی تحت‌خلأ تبخیر شد، سپس تحت گاز ازت تا حجم ۲۵۰ میکرولیتر تغلیظ شد.

نمونهٔ آمادهٔ تزریق تا زمان آنالیز در فریزر نگهداری شد. تعیین مقدار آکریل‌آمید توسط دستگاه کروماتوگرافی گازی Varian مدل ۳۸۰۰ مجهز به آشکارساز طیف‌سنج جرمی Varia (مدل ۱۲۰۰، ساخت هلند) انجام شد. برای این منظور از ستون مویین (Hp5) به طول ۳۰ متر، قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر و ضخامت ۰/۲۵ میکرومتر استفاده شد.

تجزیه‌وتحلیل آماری

آزمایش‌ها براساس طرح فاکتوریل در قالب کاملاً تصادفی انجام شد. میانگین‌ها با نرم‌افزار آماری مینی‌تب ۱۶، نسخهٔ سال ۲۰۱۳ صورت پذیرفت و مقایسهٔ میانگین‌ها براساس آزمون توکی در سطح اطمینان ۹۵ درصد محاسبه گردید. نمودارها با نرم‌افزار Microsoft Excel 2010 ترسیم گردیدند. کلیهٔ آزمایش‌ها در ۲ تکرار انجام شد.

بحث و نتایج

رطوبت

نتایج تجزیهٔ واریانس حاکی از اثر معنی‌دار سرخ‌کردن در حضور غلظت‌های مختلف روغن‌کنجد و مواد صابونی‌ناشوندهٔ آن بر رطوبت و درصد نگهدارندگی رطوبت برش‌های سیب‌زمینی بود ($P<۰/۰۵$). جدول (۲) رطوبت و درصد نگهدارندگی آن را در برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده در حضور غلظت‌های مختلف روغن‌کنجد و مواد صابونی‌ناشوندهٔ آن در مقایسه با شاهد نشان می‌دهد. نتایج مقایسهٔ میانگین حاکی از افزایش معنی‌دار رطوبت برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده در محیط‌های سرخ‌کردن حاوی روغن‌کنجد و مواد صابونی‌ناشوندهٔ آن در مقایسه با روغن سرخ‌کردنی فاقد آن بود ($P<۰/۰۵$). نتایج نشان داد که تأثیر اختلاط مواد صابونی‌ناشوندهٔ روغن‌کنجد در افزایش رطوبت برش‌های سیب‌زمینی بیش از خود روغن‌کنجد بود و افزایش غلظت آنها با افزایش بیشتر رطوبت همراه بود. ازآنجایی‌که مواد صابونی‌ناشوندهٔ روغن‌ها عمدتاً شامل ترکیبات فنلی و آنتی‌اکسیدانی می‌باشند، به‌نظر می‌رسد علت افزایش رطوبت به حضور این ترکیبات در روغن مربوط باشد. این نتیجه در مورد خود روغن‌کنجد هم صادق بود اما باتوجه‌به اینکه مواد صابونی‌ناشونده از لحاظ ترکیبات آنتی‌اکسیدانی دارای خلوص بالاتری می‌باشند، در غلظت بسیار کمتر، تأثیر آنها شدیدتر از خود روغن می‌باشد. طی سرخ‌کردن در حرارت اولیه، نمونه هیچ تبخیر رطوبتی را از خود نشان نمی‌دهد. ازدست‌دادن ناگهانی رطوبت به علت وجود حباب‌های هوا در محیط است که سبب ترک‌خوردگی و درنتیجه خروج سریع آب از محصول می‌باشد، این می‌تواند به علت فعالیت آنتی‌اکسیدانی روغن‌کنجد در برابر اکسایش روغن سرخ‌کردنی باشد که مانع از تولید حباب‌های هوا که به ترک‌خوردن محصول و خروج رطوبت منجر می‌شود، می‌گردد (Quasem *et al.*, 2009).

براساس برخی از پژوهش‌ها اسیدهای چرب غیراشباع و لستین موجود در روغن‌کنجد باعث کاهش میزان جذب روغن می‌شوند و با ایجاد پوسته‌ای در سطح مادهٔ غذایی باعث ممانعت از ورود روغن و خروج رطوبت به مادهٔ غذایی می‌شوند (Barrera-Arellano *et al.*, 1991).

میزان رطوبت برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده در در حضور ۲ درصد روغن‌کنجد و ۰/۰۴ درصد مواد صابونی‌ناشوندهٔ آن به‌ترتیب ۱۵/۷ و ۳۰/۸ درصد بیش از نمونهٔ شاهد بود. نتایج فوق در مورد درصد نگهدارندگی رطوبت نیز صادق بود. بدین‌معنی که حضور روغن‌کنجد و مواد صابونی‌ناشوندهٔ آن در محیط سرخ‌کردن منجربه‌افزایش معنی‌دار درصد نگهدارندگی رطوبت شد ($P<۰/۰۵$) که مؤید نتایج فوق است.

جدول ۲ - اثر روغن‌کنجد و مواد صابونی‌ناشوندهٔ آن بر رطوبت، درصد نگهدارندگی* و جذب روغن در برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده در مقایسه با شاهد

محیط سرخ‌کردن	غلظت (درصد)	درصد رطوبت	درصد نگهدارندگی رطوبت	درصد جذب روغن
روغن سرخ‌کردنی	-	۳۸/۳۴±۰/۷۹^{c}	-۱۶/۳۲±۱/۷۳^{c}	۲۷/۲± ۲/۲۶ ^{a}
روغن	۱	۴۰/۶۵±۰/۱۱^{b}	-۱۱/۲۸±۰/۲۴^{b}	۲۳/۳±۰/۱۴^{ab}
سرخ‌کردنی+روغن‌کنجد	۲	۴۳/۹۲±۰/۲۷^{a}	-۴/۱۴±۰/۵۹^{a}	۱۵/۳±۳/۱۲^{b}
روغن سرخ‌کردنی+مواد صابونی ناشوندهٔ روغن‌کنجد	۰/۰۲	۵۶/۹۵±۱/۵۶^{b}	۲۴/۲۸±۳/۴۰^{b}	۱۸/۵ ±۰/۱۴^{b}
	۰/۰۴	۶۲/۳۸±۰/۶۲^{a}	۳۶/۱۵±۱/۳۶^{a}	۱۴/۷ ±۰/۱۴^{b}

* میانگین ± انحراف معیار

حروف غیرمشترک در هر ستون بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار از لحاظ آماری براساس آزمون توکی در سطح ۵ درصد می‌باشد ($P<۰/۰۵$).

نتایج موسویان (۱۳۹۱) نیز بیانگر این مطلب بود که افزودن روغن مغز بنه یا مواد صابونی‌ناشوندهٔ آن به روغن کانولای بدون آنتی‌اکسیدان و سرخ‌کردن برش‌های سیب‌زمینی در این محیط با افزایش قابل توجه رطوبت در آنها همراه بود که در توافق با نتایج پژوهش حاضر بود. این محققین بیشترین میزان رطوبت (۳۲/۶۱ گرم بر گرم وزن مرطوب) را در نمونه‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده در روغن کانولای حاوی مواد صابونی‌ناشوندهٔ مغز بنه گزارش کردند.

جذب روغن

نتایج تجزیهٔ واریانس حاکی از اثر معنی‌دار حضور روغن‌کنجد و مواد صابونی‌ناشوندهٔ آن در محیط سرخ‌کردن بر میزان جذب روغن در برش‌های سیب‌زمینی بود ($P<۰/۰۵$). جدول (۲) درصد جذب روغن را در برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده در حضور غلظت‌های مختلف روغن‌کنجد و مواد صابونی‌ناشوندهٔ آن در مقایسه با شاهد نشان می‌دهد. نتایج مقایسهٔ میانگین حاکی از کاهش معنی‌دار جذب روغن برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده در محیط‌های سرخ‌کردن حاوی روغن‌کنجد و مواد صابونی ناشوندهٔ آن در مقایسه با روغن سرخ‌کردنی فاقد آن بود ($P<۰/۰۵$). افزایش درصد روغن‌کنجد اضافه‌شده به روغن سرخ‌کردنی با کاهش معنی‌دار میزان جذب روغن در مقایسه با نمونهٔ شاهد همراه بود ($P<۰/۰۵$). برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده در حضور ۲ درصد روغن‌کنجد جذب روغن را نسبت به نمونهٔ شاهد سیب‌زمینی سرخ‌شده حدود ۴۳/۷۵ درصد کاهش داد. محصولاتی که بر اثر تجزیهٔ روغن حاصل می‌آیند (ترکیبات قطبی با وزن مولکولی بالا) باعث افزایش گرانروی روغن و کاهش کشش سطحی روغن و مادهٔ غذایی می‌شوند که درنتیجهٔ آن، روغن به‌راحتی جذب سطح مادهٔ غذایی می‌گردد (Dobarganes *et al.*, 2000). روغن‌کنجد به‌دلیل حضور آنتی‌اکسیدان‌های قدرتمند و منحصربه‌فرد ترکیبات لیگنینی مانند سزامین و سزامولین از پایداری حرارتی بالاتری نسبت به سایر روغن‌های گیاهی برخوردار است (Kamal *et al.*, 1995). ازاین‌رو، افزودن روغن‌کنجد به روغن سرخ‌کردنی با بهبود پایداری اکسایشی آن، باعث افزایش کشش سطحی و درنتیجه کاهش جذب روغن شد. این یافته با نتایج سایر محققین (Troncoso & Pedreschi, 2009؛ شرایعی، ۱۳۸۹ و موسویان، ۱۳۹۱) مطابقت داشت.

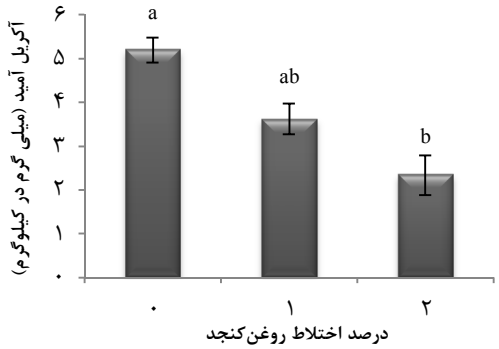
نتایج تجزیهٔ واریانس حاکی از این بود که افزودن مواد صابونی‌ناشوندهٔ روغن‌کنجد به روغن سرخ‌کردنی بر میزان جذب روغن برش‌های سیب‌زمینی تأثیرگذار بود ($P<۰/۰۵$). جدول (۲) اثر مواد صابونی‌ناشوندهٔ روغن‌کنجد بر میزان جذب روغن برش‌های سیب‌زمینی طی سرخ‌کردن نشان می‌دهد. افزودن مقدار ۰/۰۲ درصد و ۰/۰۴ درصد مواد صابونی‌ناشوندهٔ روغن‌کنجد به روغن سرخ‌کردنی به‌ترتیب با ۳۱/۹ و ۴۵/۹ درصد کاهش در میزان جذب روغن برش‌های سیب‌زمینی همراه بود. براساس نتایج به‌دست‌آمده تأثیر مواد صابونی‌ناشوندهٔ روغن‌کنجد در کاهش جذب روغن برش‌های سیب‌زمینی بیش از خود روغن‌کنجد بود. این نتایج با پژوهش موسویان (۱۳۹۱) در یک راستا بود. آنها مشاهده کردند که افزودن مواد صابونی‌ناشونده به روغن کانولا منجربه‌کاهش بیشتری در جذب روغن نمونه‌های سیب‌زمینی شد. که مؤید افزایش پایداری روغن کانولا و خاصیت آنتی‌اکسیدانی قوی مواد صابونی‌ناشوندهٔ مغز بنه می‌باشد.

این امر را می‌توان به بهبود پایداری اکسایشی روغن سرخ‌کردنی ازطریق اضافه‌کردن روغن‌کنجد و حضور آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی و قدرتمند روغن‌کنجد در مخلوط با روغن سرخ‌کردنی نسبت داد (محمدی و همکاران، ۱۳۹۳). همچنین مشخص شده است محصولاتی که بر اثر تجزیهٔ روغن حاصل می‌آیند (ترکیبات قطبی با وزن مولکولی بالا) باعث افزایش گرانروی روغن و کاهش کشش سطحی روغن و مادهٔ غذایی می‌شوند که درنتیجهٔ آن، روغن به‌راحتی جذب سطح مادهٔ غذایی می‌گردد (Dobarganes *et al.*, 2000). براین‌اساس حضور آنتی‌اکسیدان‌های روغن‌کنجد در محیط با مهار رادیکال‌ها و ممانعت از اکسایش مانع تجزیهٔ روغن شده و درنتیجه بر کاهش جذب روغن اثر مثبت می‌گذارند. نتایج شرایعی (۱۳۸۹) نیز بیانگر این مطلب بود که کارایی مواد صابونی‌ناشوندهٔ روغن مغز بنه در جلوگیری از تشکیل تری‌گلیسریدهای دیمری و پلیمری بیش از TBHQ بود.

آکریل‌آمید

نتایج تجزیهٔ واریانس حاکی از اثر معنی‌دار حضور روغن‌کنجد و مواد صابونی‌ناشوندهٔ آن در محیط سرخ‌کردن بر میزان تشکیل آکریل‌آمید در برش‌های سیب‌زمینی بود ($P<۰/۰۵$). نتایج بیانگر این مطلب بود که با افزایش درصد اختلاط روغن‌کنجد با روغن سرخ‌کردنی مقدار آکریل‌آمید برش‌های سیب‌زمینی (شکل ۱) به طور معنی‌دار کاهش یافت ($P<۰/۰۵$). میزان تشکیل آکریل‌آمید برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده در حضور ۱ و ۲ درصد روغن‌کنجد به‌ترتیب ۳۰ و ۵۵ درصد کمتر از نمونهٔ شاهد بود. این نتایج با پژوهش بختیاری و همکاران (۲۰۱۳) در یک راستا بود. آنها با استفاده از سرخ‌کردن سیب‌زمینی در روغن‌کنجد و پالم و مخلوطی از هر دو به کاهش محتوای آکریل‌آمید رسیدند و نتایج به‌دست‌آمده حاکی از آن بود که روغن‌کنجد به‌خاطر داشتن آنتی‌اکسیدان‌های قوی، تشکیل آکریل‌آمید را در سطح معنی‌داری حدود ۸۶۰ بخش در بیلیون کاهش داد. Keramat و همکاران (۲۰۱۱) بیان کردند روغن‌زیتون بکر به علت دارابودن ترکیبات فنلی موجب کاهش تشکیل آکریل‌آمید چیپس سیب‌زمینی شد. علاوه‌بر این روغن زیتونی که غلظت بیشتری از ترکیب ارتودی‌فنلی را داشت قادر به مهار بیشتر تشکیل آکریل‌آمید بود.

نتایج به‌خوبی نشان می‌دهدکه مکانیسم عمل کاهش آکریل‌آمید در نمونه‌ها به ۲ صورت بود؛ اول اینکه ترکیبات آنتی‌اکسیدانی موجود در کنجد توانایی بلوکه‌کردن واکنش‌های زنجیره‌ای خوداکسایشی چربی‌ها، رادیکال‌های آزاد و شلاته‌کردن فلزات مؤثر در اکسایش چربی‌ها را دارا می‌باشند که به متوقف‌کردن فرایند اکسایش آکرولئین و درنتیجه کاهش ایجاد آکریل‌آمید منجر می‌شود. قابل ذکر است که تولید آکرولئین از تجزیهٔ لیپیدها آغاز گشته و اکسایش اسیدهای چرب را توسعه می‌دهد. این ترکیبات با ترکیبات نیتریتی واکنش داده و موجب بلوکه‌کردن آنها و جلوگیری از شرکت آنها در فرایندهای منجربه تشکیل آکریل‌آمید یا ترکیبات واسطه مؤثر می‌گردند (متقی و همکاران، ۱۳۹۱).

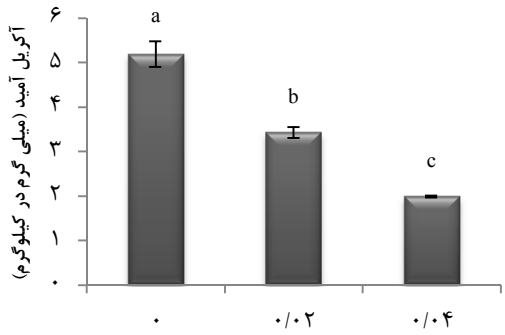


شکل ۱- اثر اختلاط روغن‌کنجد با روغن سرخ‌کردنی بر تشکیل آکریل‌آمید برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده

حروف غیرمشترک بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار از لحاظ آماری براساس آزمون توکی در سطح ۵ درصد می‌باشد ($P<۰/۰۵$). تیرک‌های بالای ستون نشان‌دهندهٔ انحراف معیار نمونه‌ها می‌باشند.

نتایج تجزیهٔ واریانس حاکی از این بود که اختلاط مواد صابونی‌ناشوندهٔ روغن‌کنجد با روغن سرخ‌کردنی بر میزان آکریل‌آمید برش‌های سیب‌زمینی تأثیرگذار بود ($P<۰/۰۵$). سرخ‌کردن برش‌های سیب‌زمینی در مواد صابونی‌ناشوندهٔ روغن‌کنجد به کاهش معنی‌دار مقدار آکریل‌آمید برش‌های سیب‌زمینی در مقایسه با نمونهٔ شاهد (شکل ۲) منجر شد ($P<۰/۰۵$). نتایج مؤید این مطلب بود که افزایش پایداری روغن سرخ‌کردنی ازطریق افزودن مواد صابونی‌ناشوندهٔ روغن‌کنجد با کاهش چشمگیر مقدار آکریل‌آمید در برش‌های سیب‌زمینی به‌ترتیب ۳۴ و۶۱ درصد همراه بود. روغن دانهٔ کنجد به‌دلیل داشتن آنتی‌اکسیدان‌های بسیار قوی و پایدار مانند سزامین، سزامولین و سزامول نسبت به اکسایش بسیار قوی و پایدار است. همچنین به‌دلیل داشتن اسیدلینولئیک به عطروطعم

مخلوط روغن‌ها کمک می‌کند (Abdulkarim *et al.*, 2010). باتوجه‌به این واقعیت که تشکیل آکریل‌آمید در روغن به‌دلیل واکنش ترکیبات کربونیل مشتق‌شده از محصولات اکسایش روغن با آسپارژین آزاد در نمونه است (Capuano *et al.*, 2010). بنابراین، علت کاهش تشکیل آکریل‌آمید در سیب‌زمینی به‌خاطر فعالیت آنتی‌اکسیدانی و ترکیبات منحصربه‌فرد و قدرتمند لیگنین روغن‌کنجد و همچنین آنتی‌اکسیدان‌هایی مانند سزامول، سزامولین و سزامینول است که به کاهش واکنش ایجاد آکرولئین و درنتیجه تشکیل آکریل‌آمید منتهی شده است.



شکل ۲- اثر اختلاط ترکیبات صابونی‌ناشوندهٔ روغن‌کنجد با روغن سرخ‌کردنی بر آکریل‌آمید برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده

حروف غیرمشترک بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار از لحاظ آماری براساس آزمون توکی در سطح ۵ درصد می‌باشد ($P<۰/۰۵$). تیرک‌های بالای ستون نشان‌دهندهٔ انحراف معیار نمونه‌ها می‌باشند.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که روغن‌کنجد از دیدگاه ساختار اسید چربی دارای پایداری اکسایشی بالایی می‌باشد. نتایج نشان داد قدرت مواد صابونی‌ناشوندهٔ روغن‌کنجد در ممانعت از تشکیل آکریل‌آمید در برش‌های سیب‌زمینی طی فرایند سرخ‌کردن در دمای ۱۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد به‌طور قابل ملاحظه‌ای بیش از روغن‌کنجد بود. علاوه‌بر این بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی مواد صابونی‌ناشوندهٔ روغن‌کنجد در غلظت ۰/۰۴ درصد ظاهر شد. نمونه‌هایی که در روغن سرخ‌کردنی حاوی روغن‌کنجد و مواد صابونی‌ناشوندهٔ آن سرخ شدند، بیشترین میزان رطوبت و کمترین میزان جذب روغن و آکریل‌آمید را دارا بودند. کمترین میزان آکریل‌آمید مربوط به برش‌های سرخ‌شده در روغن سرخ‌کردنی حاوی مواد صابونی‌ناشوندهٔ ۰/۰۴ درصد بود که میزان آکریل‌آمید را در حدود ۶۱ درصد نسبت به نمونهٔ شاهد کاهش داد. همچنین بیشترین میزان رطوبت و کمترین میزان جذب روغن مربوط به برش‌های سرخ‌شده در روغن سرخ‌کردنی حاوی ۰/۰۴ درصد مواد صابونی‌ناشونده بود که ۳۰/۸ درصد میزان رطوبت را نسبت به نمونهٔ شاهد افزایش و ۴۵/۸ درصد میزان جذب روغن را نسبت به نمونهٔ شاهد کاهش داد.

منابع

توسلی‌کفرانی، م. (۱۳۸۹). بررسی خواص آنتی‌اکسیدانی روغن پوست پستهٔ وحشی (*Pistaciaatlantica subsp. mutica*) و مواد صابونی‌ناشوندهٔ آن. (پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد منتشرنشده) دانشگاه فردوسی مشهد.

زمانی قلعه‌شاهی، ع. (۱۳۹۱). ارزیابی اثر صمغ‌های دانهٔ ریحان، متیل‌سلولز و گزانتان بر میزان جذب روغن در خلال‌های سیب‌زمینی طی سرخ‌کردن عمیق. (پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد منتشرنشده)، دانشگاه فردوسی مشهد.

شرایعی، پ. (۱۳۸۹). اثر روغن مغز پستهٔ وحشی و مواد صابونی‌ناشوندهٔ آن بر پایداری روغن‌های کانولا، پالم اولئین، زیتون و اثر نوع روغن و فرایندهای مقدماتی بر میزان جذب روغن سیب‌زمینی طی فرایند سرخ‌کردن عمیق. (رساله دکتری منتشرنشده)، دانشگاه فردوسی مشهد.

متقی، م.، اردبیلی، م.، هنرور، م.، مهربانی، م. و باقی‌زاده، ا. (۱۳۹۱). تعیین آکریل‌آمید در نان‌های مسطح سنتی شهرستان کرمان به روش LC/DAD و مطالعهٔ تأثیر عصارهٔ رزماری بر تشکیل آن. *مجلهٔ نوآوری در علوم و فنّاوری غذایی*، ۴(۴)، ۱۶-۷.

محمدی، ت.، حاتمی، م.، میرزائی سیس‌آبادی، ی.، هوشیاری، ع. و نجاتیان، م. (۱۳۹۳). فرمولاسیون روغن‌مایع مخلوط حاوی روغن‌های کانولا و کنجد بدون آنتی‌اکسیدان سنتزی. *مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران*، ۹(۳)، ۹۲-۸۳.

مرزبانی، م. و صادقی، ر. (۱۳۸۹، آبان). مروری بر تشکیل آکریل‌آمید در مواد غذایی حرارت‌دیده و اثرات مخرب آن بر سلامت انسان. همایش منطقه‌ای یافته‌های نوین شیمی و مهندسی شیمی، کرمانشاه. https://www.civilica.com/Paper-RCNFCCE01-RCNFCCE01_005.html

موسویان، د. (۱۳۹۱). بررسی تأثیر فرایندهای مقدماتی روغن مغز بنه و مواد صابونی‌ناشوندهٔ آن بر میزان آکریل‌آمید سیب‌زمینی طی فرایند سرخ‌کردن عمیق. (پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد منتشرنشده)، دانشگاه آزاد اسلامی- واحد دامغان.

Abdulkarim, S.M., Myat, M.W., & Ghazali, H.M. (2010). Sensory and Physicochemical qualities of palm olein and sesame seed oil blends during frying of banana chips. *Journal of Agricultural Science*, *2*(4), 18-29. doi: https//doi.org/10.5539/jas.v2n4p18

Amrein, T.M., Bachmann, S., Noti, A., Biedermann, M., Barbosa, M.F., Biedermann-Brem S., Grob, K., Keiser, A., Realini, P., Escher, F., & Amado, R. (2003). Potential of acrylamide formation, sugars, and free asparagine in potatoes: a comparison of cultivars and farming systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *51*(18), 5556-5560. doi: https://doi.org/10.1021/jf034344v

Amrein, T.M., Schönbächler, B., Rohner. F., Lukac, H., Schneider, H., Keiser A., Escher, F., & Amado, R. (2004). Potential for acrylamide formation in potatoes: data from the 2003 harvest. *European Food Research and Technology*, *219*(6), 572-578. doi: https://doi.org/10.1007/s00217-004-1025-z

Barrera-Arellano, D., Ruiz-Mendez, V., Velasco, J., Marquez-Ruiz, G., & Dobarganes, C. (1999). Loss of tocopherols and formation of degradation compounds in triacylglycerol model systems heated at high temperature. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *79*(13), 1923-1928. doi: https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199910)79:13<1923::AID-JSFA457>3.0.CO;2-8

Budowski, P., & Markely, K.S. (1951). The chemical and physiological properties of sesame oil. *Chemical Reviews*, *48*(2), 125-151. doi: https://doi.org/10.1021/cr60149a005

Capuano, E., Olivero, T., Acar, O.C., Gokmen, V., & Fogliano, V. (2010). Lipid oxidation promotes acrylamide formation in fat- rich model systems. *Food Research International*, *43*(4), 1021-1026. doi: https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.01.013

Delgado-Andrade, C., Seiquer, I., & Navarro, P. (2004). Bioavailability of iron from a heat treated glucose-lysine model food system: Assays in rats and in Caco-2 cells. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *84*, 1507-1513. doi: https://doi.org/10.1002/jsfa.1839

Dobarganes, C., Márquez-Ruiz, G., & Velasco, G. (2000). Interactions between fat and food during deep-frying. *European Journal of Lipid Science and Technology*, *102*(8-9), 521-528. doi: https://doi.org/10.1002/1438-9312(200009)102:8/9<521::AID-EJLT521>3.0.CO;2-A

Farhoosh, R., Esmaeilzadeh Kenari, R., & Poorazrang, H. (2009). Frying Stability of Canola Oil Blended with Palm Olein, Olive, and Corn Oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. *86*(1), 71-76. doi: https://doi.org/10.1007/s11746-008-1315-x

Fukuda, Y., Nagata, M., Osawa, T., & Namiki, M. (1986). Contribution of lignin analogues to antioxidative activity of refined unroasted sesame seed oil. *Journal of American Oil Chemist' Society*, *63*, 1027-1031. doi: https://doi.org/10.1007/BF02673792

Gunstone F.D. (2002). *Vegetable Oil in Food Technology*. (pp. 337). CRC Press, Boca Raton, USA.

Hedegaard, R.V., Granby, k., Frandsen, H., Thygesen, J., & Skibsted, L.H. (2008). Acrylamide in bread. Effect of prooxidants and antioxidants. *European Food Research and Technology*, *227*, 519-525. doi: https://doi.org/10.1007/s00217-007-0750-5

Hwang, L.S. (2005). *Sesame Oil. Baileys industrial oil and fat product*. Taipei, Taiwan, University.

Innawong, B., Mallikrjunan, P., & Marcy, J.E. (2004). The determination of frying oil quality using a chemosensory system. *LWT-Food Science and Technology*, *37*(1):35-41. doi: https://doi.org/10.1016/S0023-6438(03)00122-1

Kamal-Eldin, A., Appelqvist, L.A., & Pettersson, D. (1995). Sesamin (a compound from sesame oil) increases tocopherol levels in rats fed ad libitum. *Lipids*, *30*(6):499-505. doi: https://doi.org/10.1007/BF02537023

Keramat, J., LeBail, A., Prost, C., & Jafari, M. (2001). Acrylamide in Baking Products: A Review Article. *Food and Bioprocess Technology*, *4*(4):530-543. doi: https://doi.org/10.1007/s11947-010-0495-1

Kochhar, S.P. (2000). Stabilisation of frying oils with natural antioxidative components. *European Journal of Lipid Science and Technology*, *102*(8-9):552-559. doi: https://doi.org/10.1002/1438-9312(200009)102:8/9<552::AID-EJLT552>3.0.CO;2-V

Lea, C.H., & Ward, R.J. (1959). Relative antioxidant activities of the seven tocopherols. *Journal of The Science of Food and Agriculture*, *10*, 537-548. doi: https://doi.org/10.1002/jsfa.2740101007

Lehotay, J., & Mastovska, K. (2006). Rapid sample preparation method for LC-MS/MS or GC-MS analysis of acrylamide in various food matrices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *54*(19), 7001-7008. doi: https://doi.org/10.1021/jf061330r

Lozano, Y.F., Dhuique Mayer, C., & Gaydou, E.M. (1993). Unsaponifiable matter, total sterol and tocofherolcantents of avocado oil varieties. *Journal of the American Oil Chemists*, *70*(6), 561-565. doi: https://doi.org/10.1007/BF02545319

Marzbani, M., & Sadeghi, R. (2009, October). *A review of the formation of acrylamide in heated foods and its harmful effects on human health*. Regional Conference on New Findings of Chemistry and Chemical Engineering, October, Kermanshah, Iran. (in Persian)

Mohammadi, T., Hatami, M., Mirzaee Sisaabad, Y., Hooshiari, A., & Nejatian, M. (2014). Formulation of blend oil containing canola and sesame oils without synthetic antioxidants. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, *9*(3), 83-92. (in Persian)

Motaghi, M., Ardebili, M., Honarvar, M., Mehrabani, M., & Baghizadeh, A. (2011). Determination of acrylamide in traditional flat breads of Kerman by LC/DAD method and study of the effect of Rosemary extract on it. *Journal of Innovation in Food Science and Technology*, *4*(4), 7-16. (in Persian)

Mousavian, D., Niazmand, R., & Sharayei, P. (2011). *Evaluation of pre-treatments, Bene kernel oil and its unsaponifiable on acrylamide content of potato during deep frying*. (Unpublished master's thesis). Damghan Azad University. Semnan, Iran. (in Persian)

Namiki, M. (1995). The chemistry and physiological functions of sesame. *Food reviews international*, *11*(2), 281-329. doi: https://doi.org/10.1080/87559129509541043

Orthoefer, F.T., Gurkin, S., & Liu, K. (1996). *Dynamics of frying*. Eds. Perkins E.G., and Erickson, M.D. In: Deep Frying: Chemistry, Nutrition, and Practical Applications. AOCS Press, Champaign Illinois, USA.

Ou, S., Shi, J., Huang, C., Zhang, G., Teng, J., Jiang, Y., & Yang, B. (2010). Effect of antioxidants on elimination and formation of acrylamide in model reaction systems. *Journal of Hazardous Materials*, *182*(1), 863-868. doi: https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.06.124

Quasem, J.M., Ayman Suliman Mazahreh, A.S., Khaled Abu-Alruz, K., Afaneh, I.A., Al-Muhtaseb, A.H., & Magee, T.R.A. (2009). Effect of methyl cellulose coating and pre-treatment on oil uptake, moisture retention and physical properties of deep-fat fried starchy dough system. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, *4*(2), 156-166. doi: https://doi.org/10.3844/ajabssp.2009.156.166

Shahidi, F. (2005). *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*. (6th ed.), John Wiley & Sons, Inc, simultaneously in Canada.

Sharayei, P. (2009). *Effect of Bene kernel oil and its unsaponifiable materials on stability of canola, palm olein and olive oils and effect of oil type and pre-treatments on oil uptake of potato during deep frying*. (Unpublished doctoral dissertation). Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (in Persian)

Stadler, R.H., Blank, I., Varga, N., Robert, F., Hau, J., Guy, P.A., Robert, A-C., & Riediker, S. (2002). Food chemistry: acrylamide from maillard reaction products. *Nature*, *419*, 449-450. doi: https://doi.org/10.1038/419449a

Tareke, E., Rydberg, P., Karlsson, P., Eriksson, S., & Tornqvist, M. (2002). Analysis of acrylamide, a carcinogen formed in heated foodstuffs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *50*(17), 4998-5006. doi: https://doi.org/10.1021/jf020302f

Tavasoli Kafrani, M. (2009). *Investigation of antioxidant properties of Bene hull oil (Pistaciaatlantica subsp. mutica) and its unsaponifiable materials*. (Unpublished master's thesis). Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (in Persian)

Troncoso, E., & Pedreschi, F. (2009). Modeling water loss and oil uptake during vacuum frying of pre-treated potato slices. *LWT- Food Science and Technology*, *42*(6), 1164-1173. doi: https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.01.008

Tyagi, V.K., & Vasishtha. A.K. (1996). Changes in the characteristics and composition of oils during deep-fat frying. *Journal of the American Oil Chemists- Society*, *73*(4), 499-506. doi: https://doi.org/10.1007/BF02523926

Zamani-Ghalehshahi, A., Farhoosh, R., & Razavi, M.A. (2011). *Evaluation of Basil seed, methyl cellulose and xanthan gums on oil uptake in potato slices during deep frying*. (Unpublished master's thesis). Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (in Persian)

Zeng, X., Cheng, K., Yegang, D., Ricky, K., Clive, L., Ivan, K.C., Feng, C., & Mingfu, W. (2010). Activities of hydrocolloids as inhibitors of acrylamide formation in model systems and fried potato strips. *Food Chemistry*, *121*(2), 424-428. doi: https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.12.059

Zhang,Y.U., & Zhang, Y.I. (2008). Effect of natural antioxidants on kinetic behavior of acrylamide formation and elimination in low-moisture asparagine–glucose model system. *Journal of Food Engineering*, *85*(1), 105-115. doi: https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.07.013

Effect of Sesame Oil and its Unsaponifiable Materials on Reduction of Acrylamide in Fried Potato Slices

Zahra Keshavarz[1], Razieh Niazmand[2*], Akram Arianfar[3]

1- Msc. Graduated Student, Department of Food Science and Technology, Quchan Branch, Islamic Azad University, Quchan, Iran

2- Assistant Professor, Department of Food Chemistry, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran

* Corresponding author (r.niazmand@rifst.ac.ir)

3- Young Researchers and Elite Club, Quchan Branch, Islamic Azad University, Quchan, Iran

Abstract

Proper oil is one of the effective factors in the quality of fried products. The aim of this research is to reduce the acrylamide level and oil uptake of fried potato slices via antioxidant properties of Sesame oil (1 and 2% w/w concentrations) and its unsaponifiable materials (0.02, 0.04% w/w concentration) in 180 °C. The data were analyzed by completely randomized design and the means were compared by Tukey test. The results showed that increasing the Sesame oil and its unsaponifiable materials addition resulted in decreasing oil uptake and acrylamide level. The lowest acrylamide amount is associated with fried potato slices produced by frying oil with 0.04% unsaponifiable materials. In the mentioned sample the amount of acrylamide was 61% reduced (P<0.05). The highest humidity and lowest oil uptake were also related to the mentioned sample with 30.8% humidity increase and 45.9% decrease in oil absorption in comparison with the control sample (P<0.05).

Keywords: Acrylamide, Unsaponifiable Material, Oil Uptake, Potato