Archive of SID

کاهش آکریل‌آمید در سیب‌زمینی سرخ کرده تحت پیش تیمارهای مختلف

طلا رهبرایمانی[۱]، لیلا روفه‌گری‌نژاد [۲*]

۱. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد صنایع غذایی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران
۲. استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران
*نویسنده مسئول: l.roufegari@iaut.ac.ir

(دریافت مقاله: ۹٤/۱۰/٦ پذیرش نهایی: ۹۵/۲/۱۵)

چکیده

آکریل‌آمید در طی فرایندهای حرارتی بالا در موادغذایی غنی از کربوهیدرات تشکیل می‌گردد. به‌دلیل اثرات سوء آن بر سلامتی انسان، پیشگیری و کاهش احتمال ایجاد این ترکیب در طی فرآوری مواد غذایی از جهت ایمنی مصرف‌کننده اهمیت زیادی دارد. با توجه به و مصرف بالای سیب‌زمینی سرخ‌کرده و فراوانی آکریل‌آمید در آن، هدف این تحقیق، تعیین اثر پیش‌تیمارهای مختلف (آنزیم‌بری در آب مقطر، غوطه‌وری در محلول کلریدکلسیم (۰/۵ و ۱ درصد) و پوشش‌دهی با کربوکسی متیل سلولز (۱ درصد) بر کاهش آکریل‌آمید و ویژگی‌های حسی سیب‌زمینی سرخ‌شده می‌باشد. اندازه‌گیری محتوای آکریل‌آمید سیب‌زمینی‌های سرخ شده در ۱۵۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۷ دقیقه، توسط کروماتوگرافی گازی با آشکارساز یونی شعله‌ای (GC-FID) صورت گرفت. نتایج نشان داد پیش‌تیمارها هر یک به تنهایی و به‌صورت ترکیبی به‌طور قابل‌توجهی از تشکیل آکریل‌آمید در نمونه‌ها به‌میزان متغیر ۲۷ تا ۹۰ درصد جلوگیری کردند. بیشترین کاهش آکریل‌آمید در نمونه‌های تهیه شده با ترکیب سه پیش‌تیمار مشاهده شد (P<0.05). نمونه آنزیم‌بری شده، غوطه‌وری شده در کلریدکلسیم ۰/۵ درصد و پوشش‌دهی شده با کربوکسی متیل سلولز نیز بالاترین امتیاز را از نظر ویژگی‌های حسی کسب کرد (P<0.05). به‌طورکلی اثرات متقابل تیمارهای مورد بررسی بر روی مقدار آکریل‌آمید سیب‌زمینی‌های سرخ کرده معنی‌دار بود (P<0.05) و به‌نظر می‌رسد با تلفیق این روش‌ها، بتوان محصولی با سطح سلامتی بالاتری تولید کرد.

واژه‌های کلیدی: آکریل‌آمید، آنزیم‌بری، سیب‌زمینی، کربوکسی متیل سلولز، کلرید کلسیم

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

امروزه صنعتی شدن تولید مواد غذایی و روشن شدن تأثیر تغذیه بر روی سلامت جسمی و روحی باعث شده است که بخش قابل‌توجهی از بیماری‌ها به مصرف مواد غذایی ناسالم ارتباط داده شود (Daraei Garmakhany *et al.*, 2010). در بین اثرات زیانبار متعدد، ترکیبات وارد شده از طریق مواد غذایی که پتانسیل بالقوه سرطان‌زایی دارند، بسیار مورد اهمیت قرار دارند (Zeng, 2010). آکریل آمید یکی از این ترکیبات می‌باشد که قبل از شناخته شدن آن در مواد غذایی، منبع اصلی دریافت آن علاوه بر محیط‌های کارگری مرتبط با تولید آکریل‌آمید، دخانیات و آب آشامیدنی ذکر گردیده است (Wong *et al.*, 2014). این یافته که غذا مهم‌ترین منبع دریافت آکریل‌آمید برای انسان می‌باشد، نگرانی وسیعی را در سطح بین‌المللی به‌دنبال داشته است، زیرا سازمان بین‌المللی تحقیقات سرطان در سال ۱۹۹٤ آکریل‌آمید را به‌عنوان یک ماده سرطان‌زای احتمالی برای انسان معرفی کرد و سازمان غذا و کشاورزی سازمان ملل متحد (Food and Agriculture Organization/FAO) و سازمان جهانی بهداشت (World Health Organization/WHO) متوسط میزان دریافت روزانه آکریل‌آمید در کشورهای پیشرفته را بین ۰/۳ تا ۲ میکروگرم به ازای کیلوگرم وزن بدن تخمین زده‌اند (میانگین وزن ۷۰ کیلوگرم در نظر گرفته شده است) و این درحالی است که حداکثر میزان دریافت آکریل‌آمید، ۱ میکروگرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن در روز توصیه شده است (Mestdagh, 2007). سازمان جهانی بهداشت اعلام کرده است که یک سوم از سرطان‌های مرتبط با تغذیه، به‌دلیل وجود آکریل‌آمید در مواد غذایی می‌باشد. مطالعات و تحقیقات مختلف تومورزایی این ماده در غده تیروئید، پانکراس، کلیه، روده بزرگ، رحم و پستان را در موش و انسان تصدیق می‌نمایند و ایجاد اختلالات در سیستم عصبی توسط آکریل‌آمید نیز به اثبات رسیده است (Amrein, 2005; Keramat *et al.*, 2011; Praegitzer, 2011). تحقیقات نشان داده است که آکریل‌آمید (۲پروپن آمید) یک ترکیب شیمیایی سمی و سرطان‌زا است که در غذاهای غنی از کربوهیدرات و حاوی پروتئین کم، که در دماهای بالاتر از ۱۲۰ درجه سلسیوس فرآوری شده‌اند، تشکیل می‌شود (Michalak *et al.*, Boegl *et al.*, 2006; 2011). نتایج بررسی‌های انجام شده در زمینه مقدار آکریل‌آمید موجود در غذاهای مختلف توسط سازمان غذا و داروی ایالات متحده آمریکا (Food and Drug Administration/FDA) و سازمان‌های غذایی چندین کشور مشخص کرد که این آلاینده به‌طور گسترده در بسیاری از گروه‌های غذایی مانند فرآورده‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده مانند چیپس و سیب‌زمینی سرخ کرده، فرآورده‌های غلات پخته شده مانند بیسکویت، نان، غلات صبحانه برشته شده، شیرینی‌ها و قهوه وجود دارد (Arvanitoyannis & Dionisopoulou, 2014; Zhang *et al.*, 2005). آکریل‌آمید در فرآورده‌های سیب‌زمینی مانند چیبس و سیب‌زمینی سرخ کرده فراوان‌تر از دیگر غذاهای فرآوری شده می‌باشد، به‌طوری که در سیب‌زمینی سرخ کرده مقادیر نسبتاً بالایی از آکریل‌آمید (٤٢٤ میکروگرم در هر کیلوگرم) گزارش شده است درحالی‌که سیب‌زمینی‌های پخته نشده و حرارت ندیده فاقد این ترکیب می‌باشند (Pedreschi, 2008; Knol, 2008). بررسی‌های کمیته

www.SID.ir

Archive of SID

مشترک متخصصان سازمان غذا و کشاورزی سازمان ملل متحد و سازمان جهانی بهداشت افزودنی‌های غذایی(Joint (FAO/WHO) Expert Committee on Food Additives/JECFA) تأیید نمود که آکریل‌آمید آلاینده غیرعمدی است که در طول پخت ایجاد می‌شود و حذف آن از غذا غیرممکن به‌نظر می‌رسد. با توجه به توسعه روزافزون صنایع تولید فرآورده‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده و مصرف بالای این محصولات در جهان، این کمیته توصیه نمود که صنایع غذایی باید به سمت کاهش مقدار آکریل‌آمید در گروه‌های غذایی محتمل مانند چیپس و سیب‌زمینی سرخ‌کرده پیش رود و این رهنمود باید برای کمک به مصرف کنندگان به‌منظور کاهش مقادیر تولید شده در غذاهای خانگی گسترش یابد (Pedreschi & Zuñiga, 2009).

تشکیل آکریل‌آمید در مواد غذایی تحت تأثیر عوامل متعددی قرار می‌گیرد: از جمله درجه حرارت، زمان فرآیند، غلظت واکنش دهنده‌هایی مانند آسپاراژین و قندهای احیاکننده، مقدار رطوبت و مقدار روغن مورد استفاده برای سرخ کردن و...(Knol, 2008; Pedreschi, 2008). با توجه به اهمیت سلامت و ایمنی مصرف‌کنندگان، پژوهش‌های متعددی در زمینه کاهش میزان آکریل‌آمید در سیب‌زمینی سرخ شده صورت گرفته است که می توان تأثیر غوطه‌وری تکه‌های سیب زمینی در آب (Morales *et al*., 2008; Pedreschi *et al*., 2007)، آنزیم‌بری با محلول کلریدکلسیم (Gökmen and Şenyuva, 2007; Lindsay and Jang, 2005) و پوشش‌دهی با صمغ‌های مختلف (Zeng *et al*., 2010; Ali *et al*., 2012) را در کاهش محتوای آکریل آمید محصول تولید شده بیان کرد.

با توجه به مطالب عنوان شده، در این پژوهش اثر پیش‌تیمار آنزیم‌بری، غوطه‌وری در محلول کلرید کلسیم و پوشش‌دهی با کربوکسی متیل سلولز به دو صورت مستقل و متقابل بر کاهش محتوای آکریل‌آمید سیب‌زمینی‌های سرخ شده بررسی و ویژگی‌های حسی محصول در راستای تولید فرآورده‌ای سالم و افزایش ایمنی و سلامتی مصرف کننده ارزیابی گردید.

مواد و روش‌ها

- مشخصات سیب‌زمینی و روغن مورد استفاده

برای تهیه نمونه‌های آزمایشی سیب‌زمینی رقم آگریا تهیه و تا زمان آزمایش در دمای ۱۰ درجه سلسیوس نگهداری شد. برای سرخ کردن نمونه‌ها از روغن مایع مخصوص سرخ کردنی نینا (مخلوطی از روغن‌های آفتابگردان، سویا، پنبه دانه و کلزا) استفاده شد. کربوکسی متیل سلولز مورد استفاده متعلق به شرکت سانروس ژاپن بود. سایر مواد شیمیایی مورد استفاده متعلق به شرکت مرک آلمان بودند.

- انجام پیش‌تیمارها و آماده‌سازی نمونه‌ها

سیب‌زمینی‌ها پس از شستشو و پوست‌گیری، به قطعاتی با ابعاد ۱×۱×۵ سانتی‌متر برش داده شده و به منظور حذف نشاسته سطحی به‌مدت ۱ دقیقه در آب مقطر شستشو و خیسانده شدند و آب اضافیسیب‌زمینی‌ها با استفاده از کاغذ صافی گرفته شد. سپس مقدار ۵۰ گرم سیب‌زمینی تحت پیش‌تیمارهای مختلف (مطابق با جدول ۱) قرار گرفت. آنزیم‌بری نمونه‌ها، در دمای ۵۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۸۰ دقیقه انجام شد. برای پیش‌تیمار غوطه‌وری در کلریدکلسیم، سیب‌زمینی‌ها به مدت ۶۰ دقیقه در دمای ۲۵ درجه سلسیوس در

www.SID.ir

Archive of SID

محلول‌های کلریدکلسیم با غلظت‌های ۰/۵ و ۱ درصد وزنی–وزنی غوطه‌ور شدند. برای پوشش‌دهی، نمونه‌ها در محلول کربوکسی متیل سلولز ۱ درصد در دمای اتاق به مدت ٦٠ دقیقه و با نسبت ۳ به ۱ غوطه ور شدند (Christova *et al*., 2012). سرخ کردن نمونه‌های آماده شده، تحت دمای ۱۵۰ درجه سلسیوس و مدت ۷ دقیقه انجام و پس از انجام هر تیمار، روغن تعویض گردید.

جدول (۱) – ترکیب تیمارهای تهیه شده

شماره تیمار	آنزیم‌بری با آب	غوطه‌وری در کلریدکلسیم (٪)	پوشش‌دهی با CMC٪۱
۱	+	۰	+
۲	+	۰	–
۳	+	۰/۵	+
٤	+	۰/۵	–
٥	+	۱	+
٦	+	۱	–
۷	–	۰	+
۸	–	۰	–
۹	–	۰/۵	+
۱۰	–	۰/۵	–
۱۱	–	۱	+
۱۲	–	۱	–

علامت – و + به ترتیب به‌معنی به‌کارگیری و عدم به‌کارگیری روش‌های مندرج در جدول می‌باشد.

– آنالیز محتوای آکریل‌آمید نمونه‌ها

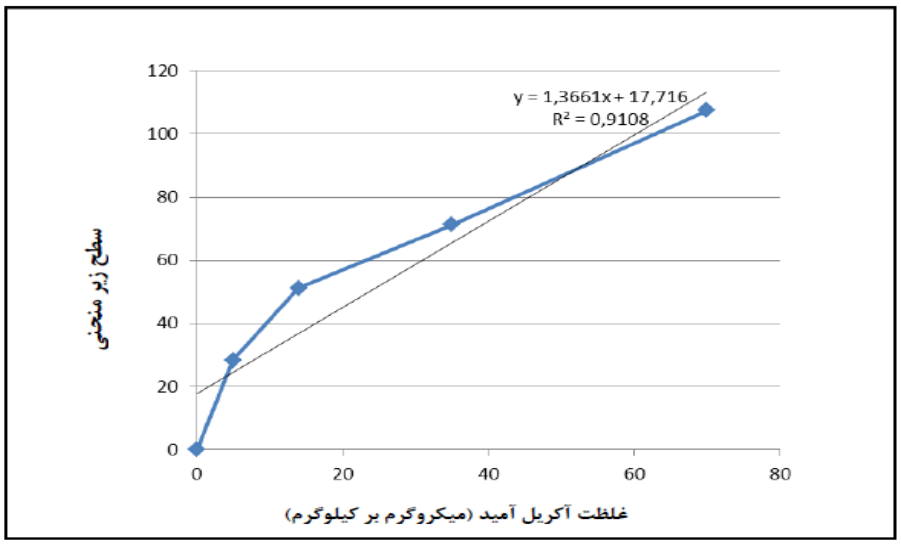
برای اندازه‌گیری میزان آکریل‌آمید تشکیل شده در نمونه‌ها، ۱ گرم از سیب‌زمینی‌های سرخ‌شده خرد و همگن شده با ۱۰ میلی‌لیتر محلول آب و ۰/۱ درصد اسید فرمیک به مدت ۲۰ دقیقه مخلوط شد و سپس در دمای ٥ درجه سلسیوس به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ٤۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ گردید. فاز رویی (supernatant) توسط سرنگ نایلونی ۰/٤٥ میکرومتر فیلتر و برای خالص‌سازی (Clean up) و آنالیز ذخیره شد. برای خالص‌سازی بهتر آنالیت، ۲ میلی‌لیتر محلول نهایی از کارتریج استخراج فاز جامد (Solid-phase extraction /SPE) (نوع oasis HLB ,3 ml/60 mg، Waters، آمریکا) عبور داده شد. سپس شستشوی کارتریج ابتدا با ۱–۰/٥ و سپس با ۱–۰/٥ میلی‌لیتر آب و ۲ میلی‌لیتر استون انجام شد (Perkin, 2004).

مقدار ۱ میکرولیتر از محلول حاصل از فرآیند SPE با استفاده از سرنگ ویژه تزریق به دستگاه کروماتوگرافی گازی با آشکارساز یونی شعله‌ای (Gas /GC-FID Chromatography flame ionization detector) مدل 68-20 (Agilent، آمریکا) به‌صورت خالص تزریق شد.

www.SID.ir

Archive of SID

ستون استفاده شده در این دستگاه از نوع مویین (HP5) به‌طول ۳۰ متر، قطر ۰/۲۵ میلی‌متر و ضخامت فیلم ۰/۲۵ میکرومتر بود. دمای محفظه تزریق ۲۳۰ درجه سلسیوس و دمای آشکارساز ۲۶۰ درجه سلسیوس و برنامه دمایی آون به شرح ذیل تنظیم گردید: دمای ستون در ابتدا به‌مدت ۰/۵ دقیقه در ۱۰۰ درجه سلسیوس ثابت نگه داشته شد. سپس دما با سرعت ۱۵ درجه سلسیوس بر دقیقه افزایش یافت تا دمای ستون به ۲۰۵ درجه سلسیوس برسد. گاز هلیوم به‌عنوان گاز حامل با فشار ثابت ۰/۷ مگاپاسکال با سرعت خطی ۱/٤ میلی‌لیتر در دقیقه در داخل ستون جریان داشت. مقادیر آکریل‌آمید نمونه‌ها از طریق منحنی کالیبراسیون حاصل از تزریق نمونه‌های استاندارد آکریل‌آمید با خلوص ۹۹/۸ درصد در غلظت‌های ۵، ۱٤، ۳۵ و ۷۰ میکروگرم بر کیلوگرم رسم شد و سطح زیر منحنی‌های به‌دست آمده محاسبه گردید (شکل ۱).



شکل (۱)- منحنی کالیبراسیون آکریل‌آمید به‌همراه معادله محاسبه آن

- ارزیابی حسی نمونه‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده

در این تحقیق از ۳۰ نفر از دانش‌آموزان ابتدایی برای انجام ارزیابی حسی استفاده شد. برای ارزیابی کیفیت نمونه‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده و تعیین میزان پذیرش نمونه‌های تولید شده از آزمون هدونیک پنج نقطه‌ای استفاده شد. نمونه‌های سیب‌زمینی در ظروف یک‌بار مصرف با شماره‌های سه‌رقمی تصادفی مشخص و روی میز به‌صورت کاملاً تصادفی چیده شدند. قبل از انجام هر آزمون به هر ارزیاب راهنمایی لازم در مورد نحوه انجام آزمون و مصرف کراکر و آب ولرم بعد از صرف هر نمونه ارایه گردید. شاخص‌هایی که توسط ارزیابان مورد ارزیابی قرار گرفت عبارت بودند: بافت، طعم و رنگ. برای بافت خصوصیاتی از قبیل تردی، برش‌پذیری در دهان و نداشتن چروکیدگی مدنظر

www.SID.ir

Archive of SID

ارزیابان قرار گرفت و در خصوص رنگ، یکنواختی، دارا نبودن تکه‌های سوخته و یا نپخته بررسی شد.

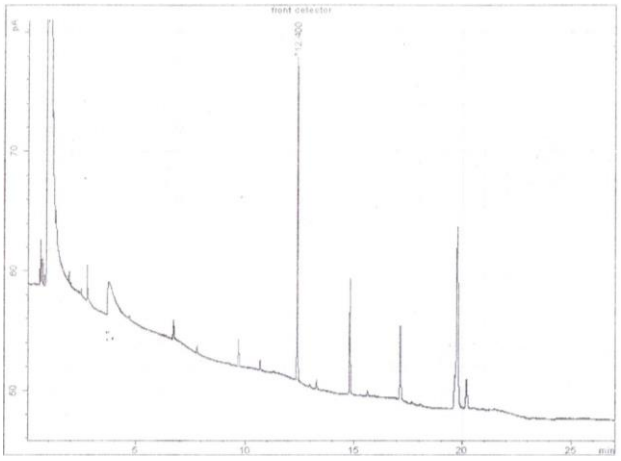
- تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها برای بررسی تأثیر پیش‌تیمارهای آنزیم‌بری، غوطه‌وری در کلریدکلسیم و پوشش‌دهی با کربوکسی متیل سلولز بر میزان آکریل‌آمید سیب‌زمینی‌های سرخ‌شده با آزمایش فاکتوریل (۲×۳×۲) در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام گردید. داده‌های حاصل از ارزیابی ویژگی‌های حسی نیز با آزمایش فاکتوریل (۲×۳×۲) در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی تجزیه و تحلیل گردید. آنالیز آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS ۹/۱ صورت گرفت. پس از تجزیه و تحلیل داده‌ها مقایسه بین میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال (P<۰/۰۵) انجام شد. به‌منظور رسم منحنی‌ها از نرم‌افزار Excel ۲۰۱۳ استفاده شد. در این تحقیق کلیه آزمایش‌ها در دو تکرار انجام گرفت.

یافته‌ها

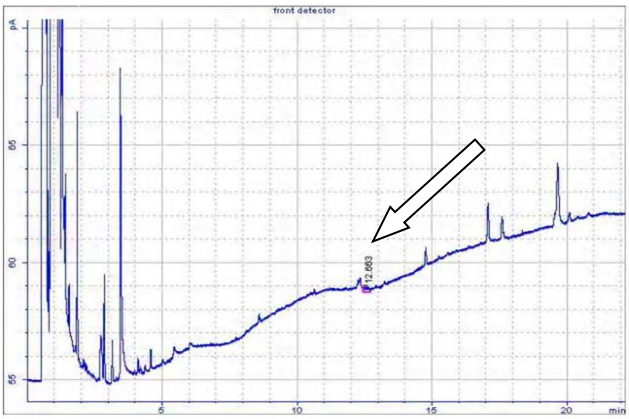
- نتایج اندازه‌گیری محتوای آکریل‌آمید نمونه‌ها

با توجه به مطالعات قبلی انجام شده، انتظار می‌رود مقدار آکریل‌آمید با انجام پیش‌تیمارهای مختلف نسبت به انواع شاهد کاهش یابد. در شکل (۲) نمونه‌ای از کروماتوگرام مربوط به آنالیز نمونه‌ها و استاندارد آکریل‌آمید نشان داده شده است که به‌وضوح کاهش سطح زیر منحنی پیک مربوط به آکریل‌آمید در مقایسه الگوی کروماتوگرافی نمونه استاندارد آکریل‌آمید با سیب‌زمینی سرخ‌شده دارای پیش‌تیمار مشاهده می‌شود. همچنین زمان ماند (Retention Time) برای اندازه‌گیری آکریل آمید ۰/۰۱۵±۱۲ دقیقه تعیین گردید.



www.SID.ir

Archive of SID



شکل (۲)- کروماتوگرام GC-FID بدست آمده برای آکریل‌آمید استاندارد (بالا) و نمونه‌ها (پایین) پیک مربوط به آکریل آمید با پیکان نمایش داده شده است.

جدول (۲) نتایج آنالیز واریانس و جدول (۳) مقایسه میانگین‌های تأثیر پیش‌تیمارهای مختلف (آنزیم‌بری، غوطه‌وری در کلرید کلسیم و پوشش‌دهی با کربوکسی متیل سلولز) بر میزان آکریل‌آمید سیب‌زمینی سرخ‌شده را نشان می‌دهد. نتایج بیانگر آن هستند که تأثیر اثرات اصلی آنزیم‌بری، غوطه‌وری در کلریدکلسیم و پوشش‌دهی با کربوکسی متیل سلولز بر روی میزان آکریل‌آمید معنی‌دار می‌باشد ($P<0.05$). در بررسی اثرات متقابل نیز تنها اثر متقابل آنزیم‌بری و غوطه‌وری با کلریدکلسیم از نظر آماری معنی‌دار نبوده در حالی که سایر روش‌های ترکیبی اثرات متقابل قابل‌ملاحظه‌ای نشان داده‌اند.

جدول (۲)- آنالیز واریانس (میانگین مربعات) تأثیر پیش‌تیمارهای مختلف (آنزیم‌بری، غوطه‌وری در کلرید کلسیم و پوشش‌دهی با کربوکسی متیل سلولز) بر میزان آکریل‌آمید سیب‌زمینی سرخ شده

منبع تغییر	درجه آزادی	محتوای آکریل‌آمید (µg/kg)
آنزیم‌بری (A)	۱	٤۲۳٤/۹۷**
غوطه‌وری در کلرید کلسیم (B)	۲	۲۰۸/۷۷*
پوشش‌دهی با کربوکسی متیل سلولز (C)	۱	۱۱۵۷/۷۷**
A×B	۲	۸۷/٤۵ns
A×C	۱	۲۳۱/٦٦*
B×C	۲	۱۸٦/۱۰*
A×B×C	۲	۱۹۲/۲٤*
خطا	۱۲	۳٤/۰۱
ضریب تغییرات	-	۲۰/٤۲

** اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد، * اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد، ns اختلاف غیرمعنی‌دار

جدول (۳)- مقایسه میانگین‌ها برای بررسی تأثیر تیمارها بر محتوای آکریل‌آمید سیب‌زمینی سرخ‌شده

www.SID.ir

Archive of SID

شماره تیمار	آنزیم‌بری با آب	غوطه‌وری در کلریدکلسیم (٪)	پوشش‌دهی با ۱٪ CMC	محتوای آکریل‌آمید (µg/kg)
۱	+	۰	+	۲۱/۱۳۲±۱/۲۲۷ ef
۲	+	۰	–	۲۸/۵۵۵±۰/۸٦٦ cde
۳	+	۰/۵	+	٦/۲۸۱±۲/٤٦ g
٤	+	۰/۵	–	۱٤/۷۹۰±۰/۲٤۹ fg
۵	+	۱	+	٦/۸۹۸±۰/۳٦۹ g
٦	+	۱	–	۱۳/۹۹۹±۰/۰۱۹ fg
۷	–	۰	+	۲۲/۷۱۷±۰/٤۸۵ def
۸	–	۰	–	٦۵/۱۷۹±۱۸/۹۷۱ a
۹	–	۰/۵	+	۳٦/۹۱۷±۰/٦۸۸ bc
۱۰	–	۰/۵	–	٤۷/۵٤٤±۵/۳۸۱ b
۱۱	–	۱	+	۳۵/۷۳۹±۰/۷۲٦ bcd
۱۲	–	۱	–	٤۲/۹٦٤±۳/۰۸۳ b

علامت - و + به‌ترتیب به‌معنی به‌کارگیری و عدم به‌کارگیری روش‌های مندرج در جدول می‌باشد.

- نتایج ارزیابی ویژگی‌های حسی

جدول ٤ نتایج آنالیز واریانس و جدول ۵ مقایسه میانگین‌های تأثیر پیش‌تیمارهای مختلف را بر ویژگی‌های حسی سیب‌زمینی‌های سرخ‌شده نشان می‌دهد. نتایج بیانگر آن هستند که تأثیر اثرات اصلی و مجزای آنزیم‌بری، غوطه‌وری در کلرید کلسیم و پوشش‌دهی با کربوکسی متیل سلولز و همچنین اثرات متقابل آن‌ها بر ویژگی‌های حسی نمونه‌ها معنی‌دار بوده است.

جدول (٤) - آنالیز واریانس (میانگین مربعات) تأثیر پیش‌تیمارهای مختلف (آنزیم‌بری، غوطه وری در کلرید کلسیم و پوشش‌دهی با کربوکسی متیل سلولز) بر ویژگی‌های حسی سیب‌زمینی سرخ شده

منبع تغییر	درجه آزادی	بافت	طعم	رنگ
آنزیم‌بری (A)	۱	۹/٦**	۲/٤**	٤۵/۰٦**
غوطه‌وری در کلرید کلسیم (B)	۲	۹/۰۲**	۱۹/۰۲**	۲/۲۲**
پوشش‌دهی با کربوکسی متیل سلولز (C)	۱	۰/٦**	۰/٦**	۱٤۰/٤۳**
A×B	۲	۰/۳۵**	۲/۱۵**	۵/۷۷**
A×C	۱	۰/٦**	۰/٦**	۳۰/۵۸**
B×C	۲	۰/۳۵**	۰/۳۵*	۳/۲۸*
A×B×C	۲	۰/۳۵**	۰/۳۵*	۲۰/۷۵**
بلوک	٤	۳/۳۲**	۲/٦۷**	٦/۷۹**
خطا	٤٤	۰/۰۱۷	۰/۰۷٦	۰/۱۰۷
ضریب تغییرات	–	۳/۳٤	۷/۵۱	۱۰/۰۱**

** اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد، * اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد، ns اختلاف غیر معنی دار

www.SID.ir

Archive of SID

جدول (۵)- مقایسه میانگین‌ها برای بررسی تأثیر تیمارها بر ویژگی‌های حسی سیب‌زمینی سرخ‌شده

شماره تیمار	آنزیم‌بری با آب	غوطه‌وری در کلسیم کلرید (٪)	پوشش‌دهی با ۱٪ CMC	بافت	طعم	رنگ
۱	+	۰	+	٤/٦±۰/٥٤٧ a	۳/٦±۰/٥٤٧ b	۳/٦±۰/٥٤٧ b
۲	+	۰	–	٤/٦±۰/٥٤٧ a	۳/٦±۰/٥٤٧ b	۳/٦±۰/٥٤٧ b
۳	+	۰/٥	+	٤/٦±۰/٥٤٧ a	٤/٦±۰/٥٤٧ a	٤/٨±۰/٤٤٧ a
٤	+	۰/٥	–	٤/٦±۰/٥٤٧ a	۳/٦±۰/٥٤٧ b	۳/٦±۰/٥٤٧ b
٥	+	۱	+	۳/٦±۰/٥٤٧ c	۲/٨±۰/٤٤٧ c	٤/٨±۰/٤٤٧ a
٦	+	۱	–	۳/٦±۰/٥٤٧ c	۲/٦±۰/٥٤٧ cd	٤/٤±۰/٥٤٧ a
۷	–	۰	+	۳/٦±۰/٥٤٧ c	٤/٦±۰/٥٤٧ a	۳/٤±۰/٥٤٧ bc
۸	–	۰	–	٤/٦±۰/٥٤٧ a	٤/٦±۰/٥٤٧ a	۱±۰ e
۹	–	۰/٥	+	۳/٦±۰/٥٤٧ c	٤/٦±۰/٥٤٧ a	۳±۰ c
۱۰	–	۰/٥	–	۳/۸±۰/٤٤٧ b	٤/٦±۰/٥٤٧ a	۲±۰ d
۱۱	–	۱	+	۲/٦±۰/٥٤٧ d	۲/٤±۰/٥٤٧ d	۳±۰ c
۱۲	–	۱	–	۲/٦±۰/٥٤٧ d	۲/٤±۰/٥٤٧ d	۲±۰ d

علامت – و + به ترتیب به معنی به کارگیری و عدم به کارگیری روش‌های مندرج در جدول ۱ می‌باشد.

حروف مشابه در هر ستون نشاندهنده عدم اختلاف معنی دار بین تیمارها در سطح احتمال ۰/۰۵ می‌باشد.

بحث و نتیجه‌گیری

- محتوای آکریل‌آمید

به‌طور کلی مکانیسم‌های پیشنهاد شده جهت تأثیر هیدروکلوئیدها بر کاهش آکریل‌آمید را می‌توان در موارد زیر خلاصه کرد: ۱) هیدروکلوئیدها با ایجاد لایه محافظ، انتقال حرارت در طول حرارت‌دهی را کاهش داده و منجر به کاهش آکریل‌آمید می‌شود، ۲) هیدروکلوئیدها بر واکنش پیش‌سازهای آکریل‌آمید (قند و آمینواسید) تأثیر می‌گذارند، ۳) هیدروکلوئیدها با تغییر در مقدار آب (کاهش از دست دادن آب) محتوای آکریل‌آمید را کاهش می‌دهند زیرا در طول سرخ کردن، آکریل‌آمید در بخش‌هایی از مواد غذایی که حاوی آب کمتری است، بیشتر تشکیل می‌شود (Zengh *et al.*, 2010).

محتوای آکریل‌آمید در نمونه‌های آنزیم‌بری شده (۲۸/۵۵ میکروگرم آکریل‌آمید در کیلوگرم سیب‌زمینی) در مقایسه با نمونه‌های آنزیم‌بری نشده (٦٥/١٧٩ میکروگرم در کیلوگرم) بود که منجر به کاهش ٥٦ درصدی آکریل‌آمید شد. دلیل این کاهش می‌تواند کاهش محتوای قند و آسپاراژین (ترکیبات اصلی برای تشکیل آکریل‌آمید) تکه‌های سیب‌زمینی در طی آنزیم‌بری باشد که در نهایت منجر به کاهش محتوای آکریل‌آمید بعد سرخ کردن می‌شود (Seal *et al.*, 2008). آنزیم‌بری طولانی مدت منجر به کاهش بیشتر مقدار قند و محتوای آسپاراژین قبل از سرخ کردن و به تبع آن کاهش بیشتر آکریل‌آمید تکه‌های سیب‌زمینی بعد از سرخ کردن شده است. نه تنها گلوکز، بلکه محتوای آسپاراژین نیز با افزایش زمان آنزیم‌بری به‌شدت کاهش می‌یابد و در نتیجه محتوای آکریل‌آمید سیب‌زمینی‌های سرخ کرده پس از سرخ کردن کاهش می‌یابد. همچنین آنزیم‌بری

www.SID.ir

Archive of SID

باعث غیر فعال شدن آنزیم‌های مؤثر در شکستن کربوهیدرات‌های موجود در ماده غذایی و تولید قندهای پیش‌ساز آکریل‌آمید نیز می‌شود. این نتایج در راستای یافته‌های پدرسچی و همکاران (Pedreschi *et al.*, 2004)، ویکلاند و همکاران (Viklund *et al.*, 2010) و مرالس و همکاران (Morales *et al.*, 2008) قرار داشت. تکه‌های سیب‌زمینی غوطه‌ور شده در محلول‌های کلریدکلسیم ۰/۵ و ۱ درصد در دمای ۲۵ درجه سلسیوس به مدت ٦۰ دقیقه به‌ترتیب حاوی ٤٤/٥٤٤ و ٤۲/۹٦٤ میکروگرم آکریل‌آمید در کیلوگرم سیب‌زمینی می‌باشند که در مقایسه با نمونه شاهد مقدار آکریل‌آمید به ترتیب ۲۷ و ۳٤ درصد کاهش نشان می‌دهد که با یافته‌های پدرسچی و همکاران مطابقت داشت (Pedreschi *et al.*, 2010). دلیل این اتفاق، کاهش pH نمی‌باشد، بلکه دلیل آن می‌تواند حضور کاتیون‌های یک و دو ظرفیتی کلسیم باشد. کلسیم با آسپاراژین واکنش داده و از شکل‌گیری شیف (باز) آسپاراژین، و به این ترتیب از تشکیل آکریل‌آمید، در طی حرارت‌دهی جلوگیری می‌کند. همچنین فعالیت آبی سطح تکه‌های سیب‌زمینی بر مکانیسم تشکیل آکریل‌آمید در حین سرخ کردن تأثیر می‌گذارد و ممکن است این پیش‌تیمار منجر به کاهش فعالیت آبی شود و در نتیجه محتوای آکریل‌آمید کاهش یابد. به علاوه تحقیقات نشان دهده است که کلرید کلسیم و کلرید سدیم جذب روغن را در حین سرخ کردن کاهش می‌دهند که این امر نیز می‌تواند یک عامل مؤثر بر کاهش شکل‌گیری آکریل‌آمید در مواد غذایی سرخ شده باشد. مرالس و همکاران نیز بیان کردند غوطه‌وری در محلول سدیم کلرید ۰/۱ درصد قبل از سرخ کردن، منجر به کاهش ۹۰ درصدی آکریل آمید و ۲۷ درصدی مقدار روغن چیپس‌ها می‌شود (Morales *et al.*, 2008).اسمییال و همکاران نیز با آنزیم‌بری تکه‌های سیب‌زمینی در محلول‌های کلرید کلسیم، کلرید منیزم، کلرید سدیم ۰/۱ مولار در دمای اتاق ۲۵ به مدت ٦۰ دقیقه، به این نتیجه رسیدند که مقدار آکریل‌آمید نمونه‌ها به ترتیب ۹۳/٤۳، ۸۸/۹۸، ۹۱/٤۱ درصد کاهش یافت و کلرید کلسیم تأثیر بیشتری در کاهش آکریل‌آمید داشت (Ismial *et al.*, 2013).

محتوای آکریل‌آمید در نمونه‌های پوشش داده شده با کربوکسی متیل سلولز (۲۲/۷۱۷ میکروگرم در کیلوگرم) و در نمونه‌های فاقد پوشش (٦٥/۱۷۹ میکروگرم در کیلوگرم) بدست آمد که مقایسه این مقدار کاهش ٦٥ درصدی آکریل‌آمید در تکه‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده در دمای ۱٥۰ درجه سلسیوس به مدت ۷ دقیقه را در طی پیش تیمار پوشش‌دهی نشان می‌دهد که مطابق با مطالعات زنگ (Zeng, 2010) و علی و همکاران (Ali *et al*, 2012) بود. دلیل این مساله نیز عمل هیدروکلوئیدها به عنوان مانعی در برابر افت مقدار آب و کاهش جذب روغن در طی سرخ کردن و بنابراین کاهش مقدار آکریل‌آمید تشکیل شده می‌باشد.

در بررسی استفاده از پیش‌تیمارهای ترکیبی مشاهده شد تکه‌های سیب‌زمینی آنزیم‌بری شده و پوشش داده شده با کربوکسی متیل سلولز ۱ درصد (۲۱/۱۳۲ میکروگرم در کیلوگرم) در مقایسه با نمونه شاهد (٦٥/۱۷۹ میکروگرم در کیلوگرم) کاهش ٦۷ درصد در آکریل‌آمید مشاهده شد. تکه‌های سیب‌زمینی غوطه‌ور شده در محلول‌های کلرید کلسیم ۰/۵ و ۱ درصد و پوشش داده شده با کربوکسی متیل سلولز ۱ درصد (به ترتیب

www.SID.ir

Archive of SID

۳۶/۹۱۷ و ۳۵/۷۳۹ میکروگرم در کیلوگرم) کاهش ۴۳ و ۴۵ درصدی آکریل‌آمید نشان دادند. تکه‌های سیب‌زمینی‌های آنزیم‌بری شده و غوطه‌وری شده در محلول کلرید کلسیم ۰/۵ و ۱ درصد نیز با داشتن مقدار آکریل‌آمید ۱۴/۷۹۰و ۱۳/۹۹۹ میکروگرم در کیلوگرم به ترتیب منجر به کاهش ۷۷ و ۷۸ درصد آکریل‌آمید تکه‌های سیب‌زمینی سرخ شده نسبت به نمونه شاهد شدند. ترکیب سه پیش‌تیمار آنزیم‌بری، غوطه‌وری شده در محلول کلرید کلسیم (۰/۵ و ۱ درصد) و پوشش‌دهی با کربوکسی متیل سلولز ۱ درصد با داشتن مقادیر آکریل‌آمید ۶/۱۸۲ و ۶/۸۹۸ میکروگرم در کیلوگرم در مقایسه با نمونه شاهد، به ترتیب منجر به کاهش ۹۰ و ۸۹ درصدی آکریل‌آمید تکه‌های سیب‌زمینی سرخ شده در دمای ۱۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۷ دقیقه شد که نشان‌دهنده کارایی بالای استفاده ترکیبی از چند پیش‌تیمار به عنوان مانع (هردل) در جلوگیری از تشکیل آکریل‌آمید در سیب‌زمینی سرخ‌شده می‌باشد.

پیش‌تیمار آنزیم‌بری منجر به بهبود بافت سیب‌زمینی سرخ شده شد و تأثیر منفی جزئی بر طعم سیب‌زمینی سرخ شده داشت، در حالی‌که این فرآیند باعث بهبود رنگ سیب‌زمینی سرخ شده شده است. در بین ویژگی‌های حسی، نمونه‌های آنزیم‌بری شده نسبت به نمونه‌های آنزیم‌بری نشده فقط در مورد طعم امتیاز پایین‌تری از سوی ارزیابان دریافت کرده‌اند که دلیل این مسئله به خاطر کاهش تردی نمونه‌های آنزیم‌بری شده به نرم شدن بافت در اثر حرارت‌دهی اولیه قبل از سرخ کردن مربوط می‌شود که مطابق با یافته‌های مرالس و همکاران بود (Morales *et al.*,).

پیش‌تیمار غوطه‌وری با کلرید کلسیم ۰/۵ درصد تأثیر منفی چندانی بر بافت سیب‌زمینی سرخ شده نمی‌گذارد ولی پیش‌تیمار غوطه‌وری در کلرید کلسیم ۱ درصد تأثیر منفی بر بافت سیب‌زمینی سرخ شده داشته و منجر به سفت شدن سیب‌زمینی‌ها شده است. دلیل این مساله را می‌توان چنین تفسیر کرد که پیش‌تیمار غوطه‌وری تکه‌های سیب‌زمینی در محلول کلرید کلسیم قبل از سرخ کردن باعث فعال شدن آنزیم پکتین متیل استراز می‌شود و پیوند متیل با گروه کربوکسیل شکسته می‌شود و گروه کربوکسیل با کلسیم پیوند برقرار کرده و باعث استحکام بافت می‌شود. درنتیجه ساختار بافت سیب‌زمینی در مقابل آسیب‌های فرآیند سرخ کردن توسط واکنش بین کلسیم و پکتین سیب‌زمینی بهبود می‌یابد. پیش‌تیمار غوطه‌وری با کلرید کلسیم ۰/۵ درصد منجر به بهبود طعم سیب‌زمینی سرخ شده می‌شود زیرا غوطه‌وری در کلرید کلسیم ۰/۵ درصد منجر به ایجاد مزه نمکی مطلوب می‌شود که نیاز به نمک زنی بعد از پختن نخواهد داشت، ولی پیش‌تیمار غوطه‌وری در کلرید کلسیم ۱ درصد تأثیر منفی بر طعم سیب‌زمینی سرخ شده داشت زیرا باعث ایجاد پس‌مزه نامطلوب شده است. غوطه‌وری با کلرید کلسیم ۰/۵ و ۱ درصد باعث بهبود رنگ سیب‌زمینی سرخ شده شده است که طبیعتاً این نتایج با نتایج بدست آمده از اندازه‌گیری محتوای آکریل‌آمید مطابقت دارد زیرا یکی از مهم‌ترین مسیرهای تشکیل آکریل‌آمید وقوع واکنش میلارد می‌باشد که افزایش سرعت این واکنش، رنگ را نیز دستخوش تغییر می‌کند. پیش‌تیمار غوطه‌وری در محلول کلرید کلسیم ۱ درصد به تنهایی و همراه با پوشش‌دهی

www.SID.ir

Archive of SID

با کربوکسی متیل سلولز کمترین امتیاز بافت و طعم را به خود اختصاص داده است ($P<0/05$).

در خصوص تأثیر پیش تیمار پوشش‌دهی با کربوکسی متیل سلولز بر روی بافت، تأثیر منفی جزئی مشاهده شد و باعث سفت شدن مختصر بافت سیب‌زمینی سرخ شده گردید. در خصوص طعم و رنگ، ارزیابان حسی امتیاز بیشتری برای سیب‌زمینی‌های پوشش‌دهی شده با کربوکسی متیل سلولز در مقایسه با نوع غیر پوشش‌دهی شده دادند. نتایج حاصله در مورد رنگ این نمونه‌ها نیز منطبق با نتایج ارزیابی آکریل‌آمید می‌باشد زیرا پوشش‌دهی با کربوکسی متیل سلولز بر واکنش قهوه‌ای شدن میلارد تأثیر داشته و محتوای آکریل‌آمید کاهش می‌یابد که نهایتاً بهبود رنگ سیب‌زمینی‌ها را باعث خواهد شد.

نتایج بدست آمده نشان داد آنزیم‌بری باعث کاهش معنی‌دار محتوای آکریل‌آمید در سیب‌زمینی سرخ کرده شد، اما بر روی طعم محصول اثر نامطلوب داشت. تأثیر غوطه‌وری در محلول‌های کلرید کلسیم بر کاهش محتوای آکریل‌آمید در سیب‌زمینی سرخ کرده معنی‌دار بود اما این کاهش تحت تأثیر غلظت مورد استفاده قرار نداشت. برخلاف این مسئله، ویژگی‌های حسی تحت تأثیر غلظت کلرید کلسیم قرا گرفت و با افزایش غلظت افت طعمی و بافتی مشاهده گردید. پوشش‌دهی با کربوکسی متیل سلولز باعث کاهش محتوای آکریل‌آمید در سیب‌زمینی سرخ کرده شد اما بافت این سیب‌زمینی‌ها نیز در مقایسه با نوع پوشش‌دهی نشده، امتیاز نسبتاً کمتری را از ارزیابان دریافت کردند.

به‌طورکلی، بیشترین کاهش در محتوای آکریل‌آمید بدون تأثیر نامطلوب بر روی ویژگی‌های حسی در تیمار آنزیم‌بری شده، غوطه‌وری شده در کلرید کلسیم ۰/۵ درصد و پوشش‌دهی شده با کربوکسی متیل سلولز به‌دست آمد. اثرات متقابل تیمارهای مورد بررسی بر مقدار آکریل‌آمید سیب‌زمینی‌های سرخ کرده معنی‌دار بود و به نظر می‌رسد که با تلفیق این روش‌ها بسته به شرایط واحدهای تولیدی بتوان محصولی با سطح ایمنی بالاتری تولید کرد.

منابع

• Ali, H., Abdel-Razek, A., Kamil, M. (2012). Effect of pre-frying treatments of French fried potatoes to achieve better oil uptake reduction for health and technological aspects. Journal of Applied Sciences Research, 8(10): 5018-5024.

• Amrein, T. M. (2005). Systematic studies on process optimization to minimize acrylamide contents in food. Swiss Federal Institute of Technology Zurich. Diss ETH, (16311): 160.

• Arvanitoyannis, I. S., Dionisopoulou, N. (2014). Acrylamide: Formation, Occurrence in Food Products, Detection Methods, and Legislation. Critical reviews in food science and nutrition, 54(6): 708-733.

• Boegl, P., Ciesarova, Z., Kiss, E. (2006). Impact of L-asparaginase on acrylamide content in potato products. Journal of Food and Nutrition Research, 45(4): 141-146.

• Christova, V., Tishkova, J., and Vrabcheva,T.(2012). Acrylamide in processed foods. Bulgarian Journal of Chemistry, 1(3): 123-132.

• Daraei Garmakhany, A., Mirzaei, H. O., Maghsoudlou, Y., Kashaninejad, M. and Jafari, S.M. (2010). Influence of partial drying on oil uptake & quality attributes of French fries. Journal of Agricultural Science and Technology. 4(1): 41-47.

www.SID.ir

Archive of SID

- Gökmen, V., Şenyuva, H. Z. (2007). Acrylamide formation is prevented by divalent cations during the Maillard reaction. Food Chemistry, 103(1): 196-203.
- Ismial, S. A. M. A., Ali, R. F. M., Askar, M., Samy, W. M. (2013). Impact of pre-treatments on the acrylamide formation and organoleptic evolution of fried potato chips. American Journal of Biochemistry & Biotechnology, 9(2): 90-101.
- Keramat, J., LeBail, A., Prost, C., Soltanizadeh, N. (2011). Acrylamide in foods: chemistry and analysis. A review. Food and bioprocess technology, 4(3): 340-363.
- Knol, J. J. (2008). Kinetic modeling of acrylamide formation in aqueous reaction systems and potato crisps. Publisher not identified.
- Lindsay, R. C., Jang, S. (2005). Chemical intervention strategies for substantial suppression of acrylamide formation in fried potato products. In chemistry and safety of acrylamide in food. pp. 393-404).
- Mestdagh, F. (2007). Formation of acrylamide in potato products and its dietary exposure. Doctoral dissertation, Ghent University.
- Michalak, J., Gujska, E., Klepacka, J. (2011). The effect of domestic preparation of some potato products on acrylamide content. Plant Foods for Human Nutrition, 66(4): 307-312.
- Morales, F., Capuano, E., Fogliano, V. (2008). Mitigation strategies to reduce acrylamide formation in fried potato products. Annals of the New York Academy of Sciences, 1126(1): 89-100.
- Pedreschi, F., Kaack, K., Granby, K. (2004). Reduction of acrylamide formation in potato slices during frying. LWT-Food Science and Technology, 37(6): 679-685.
- Pedreschi, F., Kaack, K., Granby, K., Troncoso, E. (2007). Acrylamide reduction under different pre-treatments in French fries. Journal of food engineering, 79(4): 1287-1294.
- Pedreschi, F. (2008). Fried and dehydrated potato products. Advances in Potato Chemistry and Technology. Academic Press. USA. pp, 319-337.
- Pedreschi, F., Zuñiga, R. N. (2009). Acrylamide and oil reduction in fried potatoes: a review. Food, 3(2): 82-92.
- Pedreschi, F., Granby, K., Risum, J. (2010). Acrylamide mitigation in potato chips by using NaCl. Food and bioprocess technology, 3(6): 917-921.
- Perkin, E. (2004). Acrylamide Analysis by Gas Chromatography. USA: PerkinElmer Life and Analytical Sciences, 20(10): 5-7.
- Praegitzer, S. M. (2011). Acrylamide formation and mitigation in processed potato products (Doctoral dissertation, Kansas State University).
- Seal, C. J., De Mul, A., Eisenbrand, G., Haverkort, A. J., Franke, K., Wilms, L. (2008). Risk-benefit considerations of mitigation measures on acrylamide content of foods–a case study on potatoes, cereals and coffee. British Journal of Nutrition, 99(2): 1-46.
- Viklund, G. Å., Olsson, K. M., Sjöholm, I. M., Skog, K. I. (2010). Acrylamide in crisps: Effect of blanching studied on long-term stored potato clones. Journal of Food Composition and Analysis, 23(2): 194-198.
- Wong, W. W., Chung, S. W., Lam, C. H., Ho, Y. Y., Xiao, Y. (2014). Dietary exposure of Hong Kong adults to acrylamide: results of the first Hong Kong Total Diet Study. Food Additives & Contaminants: Part A, 31(5): 799-805.
- Zhang, Y., Zhang, G., Zhang, Y. (2005). Occurrence and analytical methods of acrylamide in heat-treated foods: Review and recent developments. Journal of Chromatography A, 1075(1): 1-21.
- Zeng, X., Cheng, K. W., Du, Y., Kong, R., Lo, C., Chu, I. K. *et al*. (2010). Activities of hydrocolloids as inhibitors of acrylamide formation in model systems and fried potato strips. Food Chemistry, 121(2): 424-428.
- Zeng, X. (2010). Preventive potential and mechanism study of food additives on the formation of acrylamide. HKU Theses Online (HKUTO).

www.SID.ir