Archive of SID

JRIFST
مقالهٔ کامل پژوهشی

www.journals.rifst.ac.ir
نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی
سال ۱۳۹۹، جلد ۹، شماره ۱، صفحات ۸۵-۹۸
DOI: 10.22101/JRIFST.2020.197492.1112

مقایسهٔ اثر ضداکسایشی سلنیت سدیم میکروکپسول‌شده و ریزپوشانی‌نشده با بوتیل هیدروکسی‌آنیزول در روغن سویا

سپیده مشتاقی[۱]، محمد گلی[۲*]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران
۲- دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران
* نویسندهٔ مسئول (mgolifood@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۳۰

واژه‌های کلیدی
روغن سویا
سلنیت سدیم
صمغ عربی-فارسی
فعالیت آنتی‌اکسیدانی
میکروکپسولاسیون

چکیده

این تحقیق به بررسی میکروانکپسولاسیون سلنیت سدیم همراه با صمغ عربی (۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۸ و ۲۹ درصد) و صمغ فارسی (۵، ۴، ۳، ۲ و ۱ درصد) و خلوص اتانول (۸۰، ۸۵، ۹۰، ۹۵ و ۱۰۰ درصد) به روش سطح پاسخ پرداخت. نسبت حلال اتانول به مخلوط (۶ گرم صمغ و ۳۰۰ میلی‌گرم سلنیت سدیم در ۲۰ میلی‌لیتر مخلوط) ۱۰ به ۱ انتخاب شد. فرمول بهینهٔ اول (صمغ عربی ۲۷ درصد، صمغ فارسی ۳ درصد و درصد خلوص اتانول ۹۴ درصد با راندمان ۸۹/۵ درصد، اندازهٔ ذرات ۴۴/۶ میکرومتر) و فرمول بهینهٔ دوم (صمغ عربی ۲۹ درصد، صمغ فارسی ۱ درصد و خلوص اتانول ۸۹ درصد با راندمان ۸۶ درصد، اندازهٔ ذرات ۴۸/۵ میکرومتر) انتخاب شدند. سپس نمونه‌های بهینه (۱۸۰/۶ پی‌پی‌ام) با نمونهٔ سنتزی آنتی‌اکسیدان بوتیل‌هیدروکسی آنیزول (BHA) (۲۰۰ پی‌پی‌ام)، سلنیت سدیم فاقد کپسول (۸/۶ پی‌پی‌ام معادل سلنیوم کپسول‌های بهینه) به روغن سویای فاقد آنتی‌اکسیدان اضافه شد و دما و زمان نگهداری روغن سویا در انکوباتور با کمک برنامهٔ شلف‌لایف اکسلریتور (۵۵ درجهٔ سانتی‌گراد و ۰، ۲۳ و ۴۴ روز) معادل انبارداری (۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد و ۰، ۱۸۰ و ۳۶۰ روز) گردید و شاخص‌های اکسایش مقایسه شدند. نتایج نشان داد با افزایش درصد صمغ عربی (کاهش صمغ فارسی) و درصد خلوص اتانول، کارایی افزایش (۹۴/۶۳ درصد) و سایز ذرات کاهش (۳۷/۵ میکرومتر) یافت. ترتیب انتخاب تیمارها براساس اهمیت کاربردی در صنعت غذا برای داشتن فعالیت آنتی‌اکسیدانی حداکثری و خواص اکسایش حداقلی در بازهٔ یکساله شاکل بهینهٔ اول، بهینهٔ دوم، بوتیل‌هیدروکسی آنیزول، سلنیت سدیم کپسول‌نشده (مصرف آنی) و نمونهٔ شاهد (فاقد آنتی‌اکسیدان) شد.

مقدمه

روغن‌ها و چربی‌ها تأمین بخش قابل‌توجه انرژی موردنیاز بدن، اسیدهای چرب ضروری و ویتامین‌های محلول در چربی را برعهده دارند (حسینی‌مظهری، کبریتی، غیاثی‌طرزی، گرامی و اسفندیاری، ۱۳۹۱).

به‌دلیل وجود مقدار قابل‌توجهی از پیوندهای دوگانه در بسیاری از روغن‌ها، این مواد در معرض اکسیداسیون و فساد قرار دارند. چنانچه این فساد از حد خاصی تجاوز کند، روغن یا مادهٔ حاوی آن را غیرقابل‌استفاده برای مصارف غذایی می‌کند (Ahmadi, Kadivar, & Shahedi, 2007). ازطرفی برخی از ترکیبات به‌وجودآمده در اثر اکسیداسیون برای سلامت انسان زیان‌آور می‌باشد (Haumann, 1994). روغن سویا بزرگ‌ترین منبع روغن خوراکی در جهان است و به‌علت غیراشباع‌بودن و پایداری

www.SID.ir

Archive of SID

حرارتی بالا در بین روغن‌های خوراکی از جایگاه خاصی برخوردار است (دباغها و وثوقی، ۱۳۹۰). این روغن به‌علت دارابودن ۵-۹ درصد اسیدلینولنیک و مستعدبودن به اتو-اکسیداسیون[1]، بتا-اکسیداسیون[2] و برگشت طعم مصرف آن براساس استاندارد ملی ایران به شمارهٔ ۳۷۳۴ (سازمان ملی استاندارد ایران [ISIRI]، ۱۳۹۵) به‌صورت روغن خام بدون آنتی‌اکسیدان محدود است. یکی از راه‌های مهم مقابله با اکسیداسیون روغن‌ها استفاده از آنتی‌اکسیدان‌ها می‌باشد (Wanasundara & Shahidi, 2005). از متداول‌ترین این گروه از آنتی‌اکسیدان‌ها بوتیل هیدروکسی‌آنیزول (BHA[3])، بوتیل هیدروکسی‌تولوئن (BHT[4]) و ترشیاری بوتیل هیدروکوئینون (TBHQ[5]) می‌باشند (Eskin & Robinson, 2000). اما طبق پاره‌ای از بررسی‌های انجام‌شده، استفاده از چنین آنتی‌اکسیدان‌های سنتزی ممکن است تحت شرایطی با خطرهای سرطان‌زایی، جهش‌زایی و یا آثار سوء دیگری برای انسان همراه باشند (Dziezak, 1986; Sariri, 2012; Wanasundara & Shahidi, 1996). ازاین‌نظر در دهه‌های اخیر تحقیق‌های زیادی صورت‌گرفته تا از آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی برای جلوگیری از اکسایش روغن استفاده شود (Martínez, Penci, Ixtaina, Ribotta, & Maestri, 2013; Ortega-Ramirez *et al.*, 2014) در این مقاله از سلنیت سدیم به‌عنوان آنتی‌اکسیدان استفاده شد. سلنیوم[6] یکی از املاح معدنی کمیاب و ضروری برای بدن می‌باشد. سلنیوم دارای ترکیبات مختلف آلی و غیرآلی می‌باشد (Stewart *et al.*, 2012). مهم‌ترین اشکال غیرآلی سلنیوم شامل سلنات سدیم، سلنیت سدیم، سلنید سدیم و کلرید سدیم می‌باشد (Combs & Combs, 1984). سلنیوم یکی از عنصرهای شیمیایی غیرفلزی و کمیاب است و در گروه ۶ جدول تناوبی قرار دارد (White *et al.*, 2004). این عنصر بیشتر به‌صورت ترکیب یافت می‌شود و به‌صورت خالص کمتر دیده می‌شود. سلنیوم به‌عنوان یک جزء مهم آنزیم پراکسیدازگلوتاتیون[7] شناخته شده است و بدن را در مقابل آسیب‌های ناشی از اکسایش رادیکال‌های آزاد محافظت می‌کند (Rotruck *et al.*, 1973). در بدن سلنیوم به پروتئین‌ها متصل‌شده و تشکیل سلنوپروتئین‌ها را می‌دهد که خاصیت آنتی‌اکسیدانی دارند. مهم‌ترین خاصیت سلنیوم فعالیت آنتی‌اکسیدانی آن بوده و خواص دیگری ازقبیل خاصیت ضدالتهابی و خواص ضدویروسی نیز دارد (یارنظری و همکاران، ۱۳۹۵). اثرات آنتی‌اکسیدانی سلنیوم و ویتامین E ممکن است یکدیگر را تقویت کنند (Agarwal & Prabakaran, 2005). سلنیوم به‌عنوان جانشین ویتامین E نیز عمل می‌کند. پایین‌بودن مقدار سلنیوم در بدن بیماران سرطانی نشانگر آن است که کمبود دریافت سلنیوم ممکن است به سرطان‌زایی کمک کند (Djujić, Jozanov-Stankov, Milovac, Janković, & Djermanović, 2000). لذا برای محافظت بالا و افزایش بازده اثرگذاری، آن را کپسوله‌کرده سپس به روغن اضافه گردید. ریزپوشانی‌کردن می‌تواند فرایندهای تجزیه (مثل اکسایش یا هیدرولیز) را آهسته نماید و یا مانع تخریب ترکیبات تا زمان انتقال فراورده به مکان مناسب شود. بنابراین، ریزپوشانی‌کردن می‌تواند مواد زیست‌فعال حساس را پایدار نماید و از شرایط محیطی نامناسب محافظت کند و باعث افزایش دسترسی زیستی آنها گردد. میزان قابل تحمل، حدمجاز پیشنهادشده و میانگین نیاز برآوردشده برای انسان به‌ترتیب ۴۰۰، ۵۵ و ۴۵ میکروگرم سلنیوم در روز می‌باشد (Fraga, 2005). سلنیوم یک شبه‌فلز است لذا استفادهٔ بیش‌ازحدمجاز سلنیت سدیم سمی است و علائمی چون بوی تنفس سیر، کاهش رشد مو و ناخن، اختلالات سیستم عصبی و کاهش سلامتی دندان همچنین منجربه تهوع و استفراغ می‌شود (Meltzer *et al.*, 1993).

مواد و روش‌ها

اسید استیک گلایسال[8]، کلروفرم، الکل اتیلیک، پتاسیم یدید، فنول فتالئین، پارا آنیزیدین، سدیم هیدروکسید، هیدروکلریک اسید، تیوسولفات سدیم، هگزان، نشاسته و صمغ عربی از شرکت مرک (ساخت آلمان)، بوتیل هیدروکسی‌آنیزول از شرکت تیتراچم (ساخت آلمان)، اسید تیوباربیتوریک اسید از شرکت سروا (ساخت آمریکا)، سلنیت سدیم و توئین ۸۰ از شرکت سیگما (ساخت

[1] Auto-Oxidation
[2] β-Oxidation
[3] Butylated Hydroxyanisole (BHA)
[4] Butylated Hydroxytoluene (BHT)
[5] Tertiary Butylhydroquinone (TBHQ)
[6] Selenium
[7] Peroxid Glutathione
[8] Glacial Acetic Acid

www.SID.ir

Archive of SID

آمریکا) و صمغ فارسی از ایران تهیه گردید. روغن سویا (تصفیه‌شده فاقد آنتی‌اکسیدان) نیز از کارخانه طارم زنجان خریداری شد.

روش‌ها

جهت انجام این پژوهش در ابتدا ۳۰۰ میلی‌گرم سلنیت سدیم توسط ترکیب صمغ عربی (۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۸ و ۲۹ درصد) و صمغ فارسی (۵، ۴، ۳، ۲ و ۱ درصد) (مجموع درصد صمغ عربی و فارسی در هر تیمار ۳۰ درصد است) به روش تبخیر حلال، توسط درصدهای مختلف خلوص اتانول (۸۰، ۸۵، ۹۰، ۹۵ و ۱۰۰ درصد) با نسبت ۱۰ به ۱ حلال به مخلوط (صمغ و سلنیت سدیم) کپسوله شد و بعد از تهیهٔ میکروکپسول‌ها، کارایی کپسولاسیون و آنالیز سایز و اندازهٔ میکروکپسول‌ها مشخص گردید. میکروکپسول‌های سلنیت سدیم ازطریق فیلتراسیون توسط کاغذ صافی از اتانول جدا شدند. مواد باقی‌مانده (کپسول‌ها) تحت شرایط یخچالی (دمای ۴ تا ۷ درجهٔ سانتی‌گراد) به مدت ۱۲ تا ۱۴ ساعت خشک شدند. محتوای سلنیومی را که در ابتدا برای تهیهٔ میکروکپسول‌های سلنیوم اضافه شد، به‌عنوان محتوای کل سلنیوم درنظرگرفته شد و سلنیوم کپسول‌شده در مواد باقی‌مانده، توسط اسپکتروفتومتر جذبی (مدل یووی ۱۹۰۰، شیمادزو، ساخت ژاپن) در ۲۴۸/۳ نانومتر ازطریق روش AOAC (۲۰۰۵) تخمین‌زده شد. کارایی ازطریق رابطهٔ (۱) اندازه‌گیری شد (Gupta, Chawla, Arora, Tomar, & Singh, 2015):

رابطهٔ (۱)

کارایی کپسول = سلنیوم کل/سلنیوم باندشده ×۱۰۰

برای آنالیز اندازهٔ ذرات، میکروکپسول‌ها روی اسلایدهای شیشه‌ای قرار داده شدند و ۱ یا ۲ قطره آب‌مقطر برای پخش مناسب روی آنها چکانده شد. این میکروکپسول‌ها با میکروسکوپ نوری (Nikon، E200، ساخت آمریکا)، (با بزرگ‌نمایی ۴۰۰ برابر) مشاهده و اندازهٔ میکروکپسول‌ها با استفاده از نرم‌افزار Image J نسخهٔ ۱۰ تخمین‌زده شد.

شرایط بهینه برای میکروکپسوله‌کردن سلنیت سدیم با استفاده از پروفایل صمغ عربی و درصد خلوص اتانول با استفاده از تکنیک بهینه‌سازی عددی انجام شد سپس با کمک روش سطح پاسخ (RSM[1])، بهینه‌سازی براساس بالاترین راندمان کپسولاسیون و پایین‌ترین اندازهٔ ذرات، صورت گرفت. دامنهٔ مقادیر به‌دست‌آمده برای فرایند بهینه‌سازی شامل صمغ عربی (۲۵ تا ۲۹ درصد)، درصد خلوص اتانول (۸۰ تا ۱۰۰ درصد)، کارایی کپسولاسیون (۹۰ تا ۹۴/۶۳ درصد) و اندازهٔ ذرات (۳۷/۵ تا ۵۰ میکرومتر) بود که دو فرمول مطلوب‌تر که بالاترین درصد مطلوبیت[2] را داشتند، انتخاب شد. میکروکپسول‌های سلنیت سدیم با دو فرمول بهینه، شامل بهینهٔ اول (غلظت صمغ عربی ۲۷ درصد، صمغ فارسی ۳ درصد، درصد خلوص اتانول ۹۴ درصد) و بهینهٔ دوم (غلظت صمغ عربی ۲۹ درصد، صمغ فارسی ۱ درصد، خلوص اتانول ۸۹ درصد)، (طبق دستورالعمل FDA میزان سلنیوم مصرفی مجاز روزانه ۵۵-۴۰ میکروگرم بوده (Fraga, 2005) و براساس محاسبه‌های انجام‌شده میزان روغن حاوی سلنیوم مجاز روزانه ۱۴ گرم می‌باشد) به مقدار ۱۸۰/۶ پی‌پی‌ام نمونهٔ بهینهٔ یک و دو (حاوی ۳/۹۲ پی‌پی‌ام سلنیوم)، آنتی‌اکسیدان سنتزی BHA (۲۰۰ پی‌پی‌ام) و سلنیت سدیم فاقد کپسول (حاوی ۸/۶ پی‌پی‌ام سلنیوم) به روغن سویای فاقد آنتی‌اکسیدان اضافه شدند و در بازهٔ زمانی ۴۶ روزه در دمای ۵۵ درجهٔ سانتی‌گراد نگهداری و اندیس پراکسید، تیوباربیتوریک اسید، آنیزیدین، توتوکس[3]، اسیدیته و فعالیت آنتی‌اکسیدانی آنها با روغن سویای فاقد آنتی‌اکسیدان مقایسه شد.

به‌منظور جلوگیری از ته‌نشین‌شدن میکروکپسول‌ها در روغن، از توئین ۸۰ استفاده شد. به‌این‌منظور میکروکپسول‌ها را با چند قطره آب حل‌کرده و سپس ۱۸۰/۶ پی‌پی‌ام توئین ۸۰ و مقداری روغن به آنها اضافه شد و سپس به مدت ۵ دقیقه روی شیکر قرار گرفته و به کل روغن اضافه شدند.

آزمون‌های شیمیایی روغن

برای اندازه‌گیری عدد پراکسید از روش Firestone (۱۹۹۴) و Egan، Kirk و Sawyer (۱۹۹۷) استفاده شد. آزمون تیوباربیتوریک اسید نیز طبق روش Egan و همکاران (۱۹۹۷) انجام شد، اندیس آنیزیدین مطابق با

[1] Response Surface Methodology
[2] Desirability
[3] Totox

www.SID.ir

Archive of SID

روش Tompkins و Perkins (۱۹۹۹) توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۳۵۰ نانومتر ارزیابی شد. اندیس توتوکس مطابق با رابطهٔ ارائه‌شدهٔ Wanasundara و Shahidi (۲۰۰۵) سنجیده شد، اسیدیته نیز طبق استاندارد ملی ایران به شمارهٔ ۴۱۷۹ (سازمان ملی استاندارد ایران [ISIRI]، ۱۳۸۷) و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در تمام نمونه‌ها طبق رابطهٔ ارائه‌شده توسط قنبری، قوامی و صفافر (۱۳۸۵) اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری عدد پراکسید، ۵ گرم روغن در ارلن وزن شده و ۳۰ میلی‌لیتر محلول استیک اسید-کلروفرم (با نسبت ۲:۳) به آن اضافه شد و پس از آن به محلول به‌دست‌آمده ۰/۵ میلی‌لیتر محلول پتاسیم یدور اشباع اضافه شد و ۲ دقیقه در تاریکی قرار گرفت. سپس ۳۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر و ۰/۵ میلی‌لیتر شناساگر نشاسته به آن اضافه گردید و تیتراسیون با تیوسولفات ۰/۰۱ نرمال تا ازبین‌رفتن رنگ آبی ادامه یافت. همراه با نمونه‌ها، تیتراسیون شاهد (تمام محلول‌ها به‌جزء روغن) نیز انجام شد.

برای اندازه‌گیری تیوباربیتوریک اسید مقدار ۰/۲ گرم از نمونه به یک بالن حجمی ۲۵ میلی‌لیتری انتقال یافته و با ۱-بوتانول به حجم رسانده شد. سپس ۵ میلی‌لیتر از محلول فوق به لوله‌های خشک درب‌دار منتقل و به آن ۵ میلی‌لیتر معرف تیوباربیتوریک اسید افزوده شد. لوله‌های درب‌دار در حمام آبی با دمای ۹۵ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت قرار گرفت. سپس مقدار جذب نمونه‌ها در ۵۳۰ نانومتر در مقابل شاهد (آب‌مقطر) خوانده شد.

برای اندازه‌گیری اندیس آنیزیدین ۳ گرم روغن در ارلن ۲۵ میلی‌لیتری توزین‌شده و با هگزان به حجم رسانده شد، سپس جذب آن در ۳۵۰ نانومتر اندازه‌گیری شد و از هگزان به‌عنوان شاهد استفاده گردید. ۵ میلی‌لیتر از محلول چربی در لولهٔ آزمایش ۱ و ۵ میلی‌لیتر حلال در لولهٔ آزمایش ۲ ریخته شد. ۱ میلی‌لیتر معرف آنیزیدین به ۲ لولهٔ آزمایش اضافه کرده، پس از هم‌زدن و بعد از ۱۰ دقیقه نگهداری در محیط تاریک، جذب نوری در ۳۵۰ نانومتر خوانده شد. از محتویات لولهٔ ۲ به‌عنوان شاهد استفاده شد. شاخص توتوکس از حاصل جمع دو برابر اندیس پراکسید با اندیس آنیزیدین به‌دست می‌آید.

برای اندازه‌گیری اسیدیته ۱۰ گرم روغن در ارلن ۲۵۰ میلی‌لیتری توزین و به آن ۵۰ میلی‌لیتر اتانول اضافه گردید. سپس ۱ میلی‌لیتر محلول فنول فتالئین ۱ درصد به آن اضافه کرده و با سود ۰/۱ نرمال تا تشکیل رنگ صورتی کم‌رنگ تیتر شد.

آنالیز آماری

برای میکروکپسوله‌کردن ۲ فاکتور A شامل میزان درصد صمغ عربی (۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۸ و ۲۹ درصد) و صمغ فارسی متناظر آن به‌ترتیب (۵، ۴، ۳، ۲ و ۱ درصد)، و فاکتور B درصد خلوص اتانول (۸۰، ۸۵، ۹۰، ۹۵ و ۱۰۰ درصد) درنظرگرفته شد و برای تحلیل نتایج از روش سطح پاسخ و طرح مرکب مرکزی و α=۲ با ۶ نقطه مرکزی استفاده شد. برای آزمون‌های روغن، ۲ عدد از فرمول‌های با درصد مطلوبیت بالاتر انتخاب شد و به‌همراه نمونهٔ فاقد کپسول، نمونهٔ فاقد آنتی‌اکسیدان و نمونهٔ حاوی آنتی‌اکسیدان BHA به روغن سویا اضافه شد و در بازهٔ زمانی ۴۶ روزه در دمای ۵۵ درجهٔ سانتی‌گراد با روغن سویای فاقد آنتی‌اکسیدان ازنظر خواص آنتی‌اکسیدانی بررسی شدند. دما و زمان نگهداری روغن سویا در انکوباتور با کمک برنامهٔ شلف‌لایف اکسلریتور (۵۵ درجهٔ سانتی‌گراد و ۰، ۲۳ و ۴۴ روز، معادل انبارداری ۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد و ۰، ۱۸۰ و ۳۶۰ روز) معادل‌سازی شد. طبق این روش تسریع‌شده، در عمل مادهٔ غذایی تحت‌تأثیر درجه‌حرارت بالا قرار گرفت و نتایج ازطریق معادلهٔ آرنیوس و Q_{10} معادل ۲ به شرایط معمولی تعمیم داده شد (Labuza & Schmidl, 1985). اختلاف بین مقادیر در نمونه‌ها با استفاده از آنالیز واریانس و آزمون LSD در سطح احتمال ($P<$۰/۰۵) انجام گردید. برای تحلیل نتایج از روش آماری تحلیل واریانس با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخهٔ ۱۷) استفاده گردید و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Microsoft Excel نسخهٔ ۲۰۱۲ استفاده شد.

نتایج و بحث

مقادیر پاسخ‌های آزمون تعیین کارایی و سایز کپسولاسیون

رابطهٔ تجربی، بین متغیرهای آزمایش و درصد کارایی کپسولاسیون به‌صورت کدگذاری‌شده و به واسطهٔ استفاده از روش سطح پاسخ و براساس رابطهٔ (۲) به‌دست آمد:

رابطهٔ (۲)

$$(\text{کارایی کپسولاسیون}\ (\%))^{-3} = 1.56\times10^{-6} - 3.08\times10^{-8}(A) - 2.71\times10^{-7}(B) + 4.24\times10^{-8}(B^2) - 3.51\times10^{-8}(A^2B)$$

R-Squared=0.99

www.SID.ir

Archive of SID

در رابطهٔ (۲)، A: درصد صمغ عربی، B: درصد خلوص اتانول، B^2: اثر درجهٔ دوم درصد خلوص اتانل و A^2B: اثر متقابل درجهٔ دوم درصد صمغ عربی و درصد خلوص اتانل است.

ضریب خطی A (درصد صمغ عربی)، B (درصد خلوص اتانول)، ضریب مربوط به اثر درجهٔ دوم B^2 و نیز ضریب مربوط به اثر متقابل A^2B تأثیر معنی‌داری بر راندمان کپسولاسیون داشتند و باتوجه‌به ضرایب آنها در رابطهٔ (۱) ضریب B تأثیر بیشتری نسبت به بقیه داشت. بررسی ضریب تبیین مدل‌ها نشان داد که این مقادیر برای رابطهٔ درجهٔ سوم به میزان ۰/۹۹ بود که نسبت به سایر مدل‌ها دارای مقادیر بالاتری بوده و بنابراین در برازش داده‌ها توان بیشتری داشته و برای پیشگویی پیشنهاد گردید. نتایج نشان داد با افزایش درصد خلوص اتانول و افزایش غلظت صمغ عربی کارایی کپسولاسیون افزایش یافت. همچنین رابطهٔ تجربی بین متغیرهای آزمایش و اندازهٔ کپسولاسیون به‌صورت کدگذاری‌شده، به واسطهٔ استفاده از روش سطح پاسخ و براساس رابطهٔ (۳) به‌دست آمد:

رابطهٔ (۳)

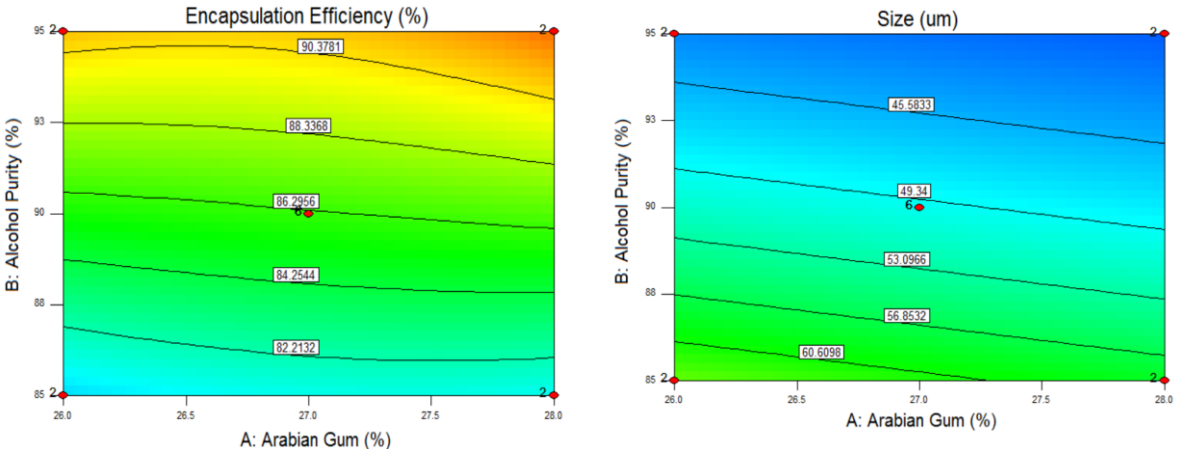
$$(\text{اندازهٔ ذرات})^{-1.87} = -4.30 \times 10^{-3} + 3.84 \times 10^{-5}(A) + 4.37 \times 10^{-5}(B)$$

R-Squared=0.97

در رابطهٔ (۳)، ضریب خطی A (درصد صمغ عربی) و B (درصد خلوص اتانول) تأثیر معنی‌داری بر اندازهٔ کپسولاسیون داشتند و باتوجه‌به ضرایب آنها در رابطهٔ (۲) ضریب B تأثیر بیشتری نسبت به بقیه داشت. بررسی ضریب تبیین مدل‌ها نشان‌دهندهٔ این بود که این مقادیر برای رابطهٔ درجه‌یک به میزان ۰/۹۷ بود که نسبت به سایر مدل‌ها دارای مقادیر بالاتری بوده، بنابراین در برازش داده‌ها توان بیشتری داشته و برای پیشگویی پیشنهاد گردید.

اعداد پیشگویی شامل راندمان (۸۹/۵ درصد) و اندازهٔ ذرات (۴۴/۶ میکرومتر) و اعداد تجربی شامل راندمان (۸۸ درصد) و اندازهٔ ذرات (۴۷ میکرومتر) برای فرمول بهینهٔ انتخابی شمارهٔ ۱ زمانی به‌دست‌آمد که غلظت صمغ عربی ۲۷ درصد، صمغ فارسی ۳ درصد و درصد خلوص اتانول ۹۴ درصد بود و همچنین اعداد پیشگویی شامل راندمان (۸۶ درصد) و اندازهٔ ذرات (۴۸/۵ میکرومتر) و اعداد تجربی شامل راندمان (۸۵/۵ درصد) و اندازهٔ ذرات (۴۹ میکرومتر) برای فرمول بهینهٔ انتخابی شمارهٔ ۲ زمانی به‌دست‌آمد که غلظت صمغ عربی ۲۹ درصد، صمغ فارسی ۱ درصد و خلوص اتانول ۸۹ درصد بود. یافته‌های این تحقیق حاکی از وجود رابطهٔ مستقیم میان غلظت صمغ عربی و درصد خلوص اتانول با راندمان کپسولاسیون بود، به‌طوری‌که با افزایش غلظت صمغ عربی و درصد خلوص اتانول راندمان کپسولاسیون افزایش یافت (شکل ۱).

درحالی‌که رابطهٔ میان غلظت صمغ عربی و درصد خلوص اتانول با اندازهٔ ذرات معکوس بود. یعنی با افزایش غلظت صمغ عربی و خلوص اتانول اندازهٔ ذرات کاهش یافت و باتوجه به ضرایب در رابطه‌های (۱) و (۲) درصد خلوص اتانول تأثیر بیشتری بر افزایش کارایی و کاهش سایز ذرات داشت.



شکل ۱- بررسی اثر متقابل درصد صمغ عربی و خلوص الکل بر میزان ابعاد و راندمان کپسولاسیون سلنیوم

www.SID.ir

Archive of SID

بهینه‌سازی

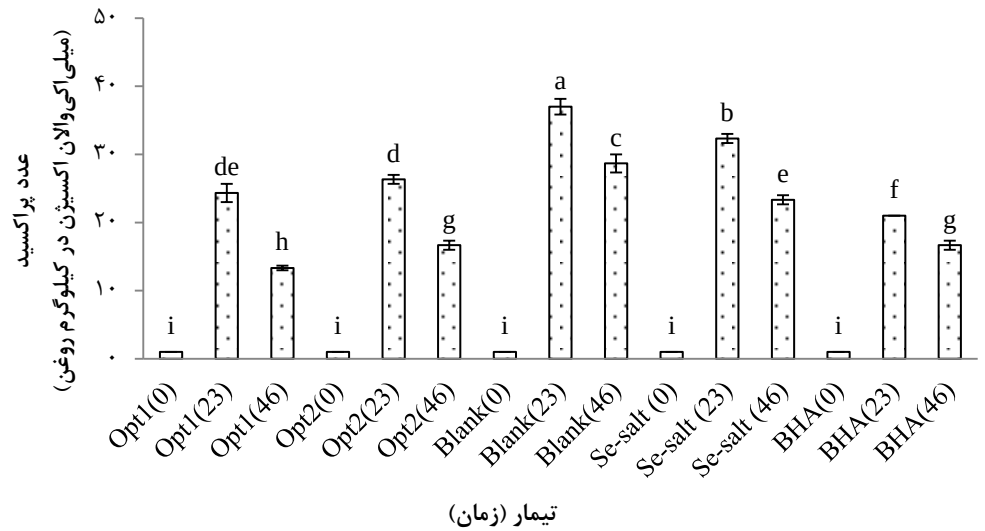
بهینه‌سازی براساس میزان صمغ عربی (۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۸ و ۲۹ درصد)، صمغ فارسی (۵، ۴، ۳، ۲ و ۱ درصد)، خلوص اتانول (۸۰، ۸۵، ۹۰، ۹۵ و ۱۰۰ درصد)، کارایی (۹۰-۹۴/۶۳ درصد) و سایز (۳۷/۵-۵۰ میکرومتر) طراحی شد. دو نمونهٔ بهینهٔ ۱ (صمغ عربی ۲۷ درصد، صمغ فارسی ۳ درصد و درصد خلوص اتانول ۹۴ درصد با راندمان ۸۹/۵ درصد، اندازهٔ ذرات ۴۴/۶ میکرومتر) و نمونهٔ بهینهٔ ۲ (صمغ عربی ۲۹ درصد، صمغ فارسی ۱ درصد و خلوص اتانول ۸۹ درصد با راندمان ۸۶ درصد، اندازهٔ ذرات ۴۸/۵ میکرومتر) انتخاب گردید.

اثر متقابل تیمار در زمان بر ویژگی‌های کیفی روغن سویا

عدد پراکسید

عدد پراکسید شاخصی است که نشان‌دهندهٔ مرحلهٔ آغازین اکسایش می‌باشد. این شاخص غلظت هیدروپراکسیدها و پراکسیدها را نشان می‌دهد که ترکیباتی ناپایدار هستند و می‌توانند به آسانی اسیدهای چرب را به ترکیباتی با وزن مولکولی کم نظیر الکل، آلدئید، اسیدهای چرب آزاد و کتون‌ها، شکسته و موجب فساد اکسایشی روغن شوند (Sun-Waterhouse, Penin-Peyta, Wadhwa, & Waterhouse, 2012؛ محمدی، فاضل و خسروی، ۱۳۹۵).

همان‌طورکه در شکل (۲) مشاهده می‌شود کلیهٔ نمونه‌های روغن در روز صفر، پایین‌ترین عدد پراکسید را نشان داده‌اند. میزان پراکسید از روز صفر تا روز ۲۳ دورهٔ نگهداری، یک روند افزایشی را نشان‌داده است که نشان‌دهندهٔ آغاز فرایند اکسایش و تجمع ترکیبات حاصل از آنها مانند پراکسیدهاست و پس از آن، تا روز ۴۶ روند کاهشی داشته است. ازآنجایی‌که مالون آلدئیدها از تجزیهٔ هیدروپراکسیدها حاصل می‌گردد، پس از گذشت مدت زمانی معین، که مقدار محصولات اولیهٔ اکسایش افزایش یافت، پراکسیدها و هیدروپراکسیدها شروع به تجزیه‌شدن کرده و بنابراین عدد پراکسید کاهش می‌یابد (کبیری و سیدالنگی، ۱۳۹۴). نمونه‌های روغن دارای سلنیت سدیم کپسوله‌شده در مقایسه با نمونهٔ روغن حاوی سلنیت سدیم کپسوله‌نشده، عدد پراکسید پایین‌تری را نشان داد، که علت آن را می‌توان به حفظ پایداری آنتی‌اکسیدان درون کپسول نسبت داد. چرا که کپسول موجب آزادسازی کنترل‌شدهٔ آنتی‌اکسیدان در طی دورهٔ نگهداری می‌شود، درحالی‌که آنتی‌اکسیدان در حالت آزاد بیشتر در معرض عوامل اکسیدکننده قرارگرفته و خاصیت آنتی‌اکسیدانی خود را زودتر از دست می‌دهد.



شکل ۲- اثر متقابل تیمار در زمان نگهداری (روز) بر میزان پراکسید روغن سویا (انکوبه‌شده در ۵۵ درجهٔ سانتی‌گراد)

(Opt_1: (تیمار ۲۷درصد صمغ عربی، ۳ درصد صمغ فارسی، ۹۴ درصد خلوص اتانول، با غلظت *۱۸۰/۶ پی‌پی‌ام (حاوی ۳/۹۲ پی‌پی‌ام سلنیوم))، تیمار (Opt_2: (۲۹ درصد صمغ عربی، ۱ درصد صمغ فارسی، ۸۹ درصد خلوص اتانول، با غلظت *۱۸۰/۶ پی‌پی‌ام (حاوی ۳/۹۲ پی‌پی‌ام سلنیوم))، تیمار (Na_2SeO_3) Se-salt: نمک سلنیت سدیم با غلظت ۸/۶ پی‌پی‌ام (حاوی ۳/۹۲ پی‌پی‌ام سلنیوم)، تیمار BHA: آنتی‌اکسیدان سنتزی بوتیل‌هیدروکسی آنیزول با غلظت ۲۰۰ پی‌پی‌ام و(Blank (Antioxidant free: روغن سویای فاقد آنتی‌اکسیدان)

www.SID.ir

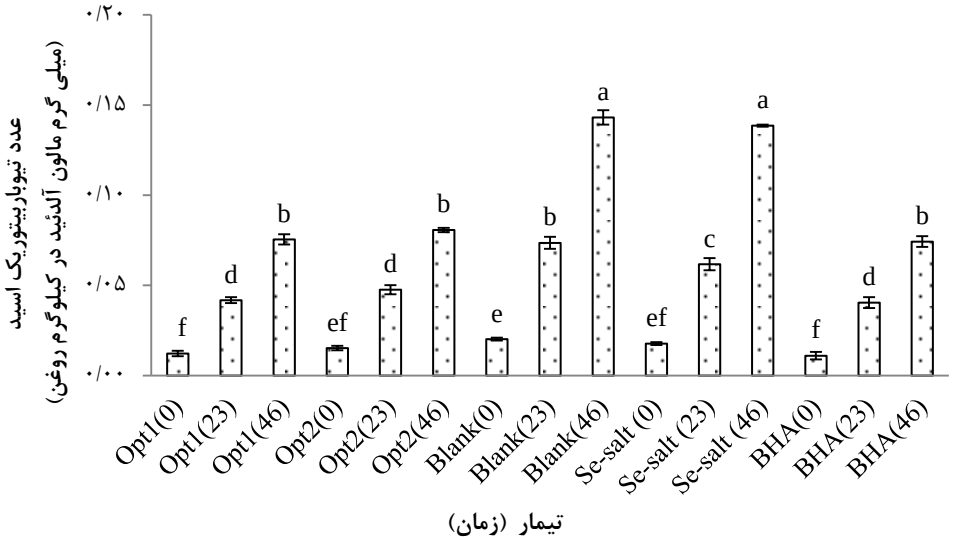
Archive of SID

در تحقیقی مشابه Ben-Ali، Dhouib، Damak و Allouche (۲۰۱۴) گزارش کردند که عصارهٔ متانولی ریحان اثر آنتی‌اکسیدانی خوبی بر پایداری روغن‌آفتاب‌گردان در طول ۲۴ روز دورهٔ نگهداری داشته و موجب تأخیر در تشکیل هیدروپراکسیدها شده است و با افزایش غلظت عصاره، کاهش بیشتری در عدد پراکسید مشاهده نمودند. عدد پراکسید نمونهٔ شاهد تا روز ۲۰ روند افزایشی و پس از آن تا روز ۲۴ روند کاهشی نشان داده است.

در تحقیقی Batool و همکاران (۲۰۱۸) تأثیر ویتامین E و سلنیوم بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و اکسایش چربی پنیر چدار را بررسی کردند و نتایج آنها نشان داد سلنیوم و ویتامین E به‌طور قابل‌توجهی اکسایش لیپیدها را درحین‌رسیدن پنیر مهار می‌کنند. سلنیوم و ویتامین E می‌توانند به‌عنوان آنتی‌اکسیدان در تسریع رسیدن پنیر استفاده شوند. در این تحقیق مقدار پراکسید و غلظت آنتی‌اکسیدان‌ها به‌طور کامل در ارتباط بودند.

عدد تیوباربیتوریک اسید

تعیین عدد تیوباربیتوریک اسید، میزان مالون‌آلدئید را که محصول جانبی مرحلهٔ ثانویهٔ اکسایش می‌باشد، نشان می‌دهد. میزان عدد تیوباربیتوریک اسید، تحت‌تأثیر مدت زمان دورهٔ نگهداری قرار می‌گیرد و با افزایش زمان دورهٔ نگهداری، افزایش می‌یابد (محمدی و همکاران، ۱۳۹۵). باتوجه‌به شکل (۳)، میزان عدد تیوباربیتوریک اسید از روز صفر تا روز ۴۶ دورهٔ نگهداری روند افزایشی داشت. زمانی که میزان پراکسید به حد معینی برسد، تغییرات مختلفی ایجاد می‌شود و مواد فرار آلدئیدی و کتونی حاصل از تجزیهٔ هیدروپراکسیدها تولید می‌شوند که در ایجاد بو و طعم نامطبوع مواد چرب، مؤثر می‌باشند و باعث بالارفتن عدد تیوباربیتوریک اسید می‌شوند. علاوه‌بر این، آنتی‌اکسیدان‌ها طی مدت زمان معینی فعال باقی‌مانده و با گذشت زمان به تدریج از درجهٔ تأثیر آنها کاسته می‌شود که دلیل آن می‌تواند نگهداری نمونه در شرایط اکسایش و حرارت باشد. ازاین‌رو با افزایش زمان دورهٔ نگهداری، میزان عدد تیوباربیتوریک اسید افزایش می‌یابد (Farag, Mahmoud, & Basuny, 2007؛ کبیری و سیدالنگی، ۱۳۹۴). اگرچه گاهی با گذشت زمان دورهٔ نگهداری، آنتی‌اکسیدان (سلنیت سدیم) می‌تواند باعث بلوکه‌شدن مولکول‌های آنتی‌اکسیدان و حتی اثرات پراکسیدانی گردد (Armando, Maythe, & Beatriz, 1998).



شکل ۳- اثر متقابل تیمار در زمان نگهداری (روز) بر میزان عدد تیوباربیتوریک اسید روغن سویا (انکوبه‌شده در ۵۵ درجهٔ سانتی‌گراد)

(تیمار Opt_1: (۲۷درصد صمغ عربی، ۳ درصد صمغ فارسی، ۹۴ درصد خلوص اتانول، با غلظت *۱۸۰/۶ پی‌پی‌ام (حاوی ۳/۹۲ پی‌پی‌ام سلنیوم))، تیمار Opt_2: (۲۹ درصد صمغ عربی، ۱ درصد صمغ فارسی، ۸۹ درصد خلوص اتانول، با غلظت *۱۸۰/۶ پی‌پی‌ام (حاوی ۳/۹۲ پی‌پی‌ام سلنیوم))، تیمار Se-salt (Na_2SeO_3): نمک سلنیت سدیم با غلظت ۸/۶ پی‌پی‌ام (حاوی ۳/۹۲ پی‌پی‌ام سلنیوم)، تیمار BHA: آنتی‌اکسیدان سنتزی بوتیل‌هیدروکسی آنیزول با غلظت ۲۰۰ پی‌پی‌ام و(Blank (Antioxidant free: روغن سویای فاقد آنتی‌اکسیدان)

www.SID.ir

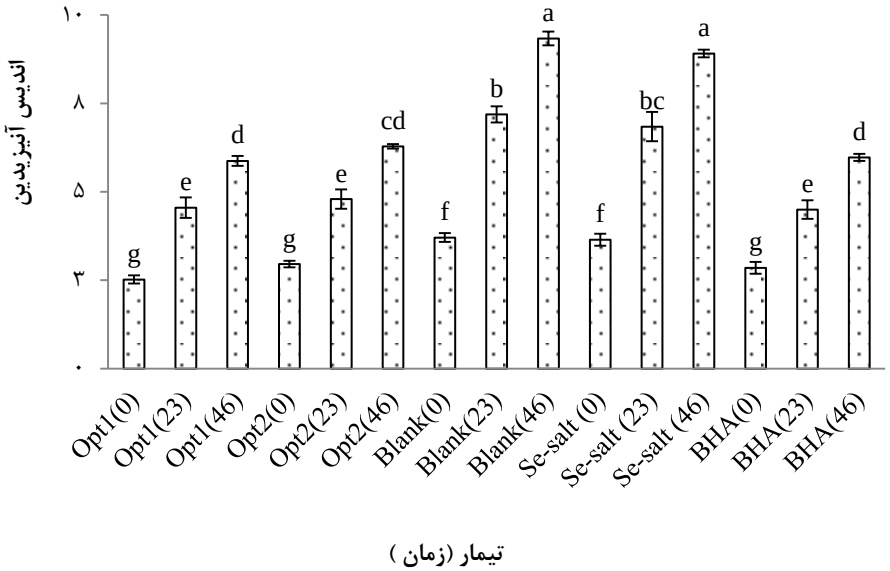
Archive of SID

کبیری و سیدالنگی (۱۳۹۴) با بررسی ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی عصاره‌های مختلف برگ گیاه بادرنجبویه حاصل از دو روش استخراج غرقابی و استخراج به کمک امواج مایکروویو و تأثیر آن بر پایداری اکسایشی روغن سویا نشان دادند که با افزایش زمان دورهٔ نگهداری، میزان عدد تیوباربیتوریک اسید افزایش می‌یابد. سلنیوم و ویتامین E به‌طور قابل‌توجهی اکسایش لیپیدها و بخصوص تولید محصولات ثانویهٔ اکسایش مانند مالون‌دی‌آلدئید را درحین‌رسیدن پنیر مهار کرد. به‌طوری‌که از سلنیوم و ویتامین E به‌عنوان آنتی‌اکسیدان در تسریع رسیدن پنیر استفاده شدند. مقدار تولید مالون‌دی‌آلدئید و غلظت آنتی‌اکسیدان ترکیبی ویتامین E و سلنیوم رابطهٔ غیرمستقیم داشتند (Batool *et al.*, 2018).

اندیس آنیزیدین

اندازه‌گیری اندیس آنیزیدین میزان محصولات ثانویه حاصل از اکسایش ازجمله آلفا و بتا-آلدئیدهای[1] غیراشباع را نشان می‌دهد (Sun-Waterhouse *et al.*, 2012). براساس شکل (۴)، کلیهٔ نمونه‌های روغن در روز صفر کمترین اندیس آنیزیدین را داشتند. میزان اندیس آنیزیدین از روز صفر تا روز ۴۶ دورهٔ نگهداری، یک روند افزایشی نشان داد. با افزایش زمان دورهٔ نگهداری، روند اکسایش شدت‌یافته و مقدار محصولات ثانویهٔ اکسایش افزایش می‌یابند.

بالاترین اندیس آنیزیدین در نمونهٔ شاهد (فاقد آنتی‌اکسیدان) در روز ۴۶ مشاهده شد. در میان تیمارها، نمونهٔ دارای آنتی‌اکسیدان سنتزی بوتیل هیدروکسی‌آنیزول و نمونه‌های حاوی سلنیت سدیم کپسوله‌شده (بهینهٔ انتخابی اول و دوم) پایین‌ترین اندیس آنیزیدین را در روز ۲۳ داشتند.



شکل ۴- اثر متقابل تیمار در زمان نگهداری (روز) بر میزان اندیس آنیزیدین روغن سویا (انکوبه‌شده در ۵۵ درجهٔ سانتی‌گراد)

(Opt_1: (۲۷درصد صمغ عربی، ۳ درصد صمغ فارسی، ۹۴ درصد خلوص اتانول، با غلظت *۱۸۰/۶ پی‌پی‌ام (حاوی ۳/۹۲ پی‌پی‌ام سلنیوم))، تیمار Opt_2: (۲۹ درصد صمغ عربی، ۱ درصد صمغ فارسی، ۸۹ درصد خلوص اتانول، با غلظت *۱۸۰/۶ پی‌پی‌ام (حاوی ۳/۹۲ پی‌پی‌ام سلنیوم))، تیمار Se-salt (Na_2SeO_3): نمک سلنیت سدیم با غلظت ۸/۶ پی‌پی‌ام (حاوی ۳/۹۲ پی‌پی‌ام سلنیوم)، تیمار BHA: آنتی‌اکسیدان سنتزی بوتیل‌هیدروکسی آنیزول با غلظت ۲۰۰ پی‌پی‌ام و(Antioxidant free) Blank: روغن سویای فاقد آنتی‌اکسیدان)

[1] α and β-Aldehydes

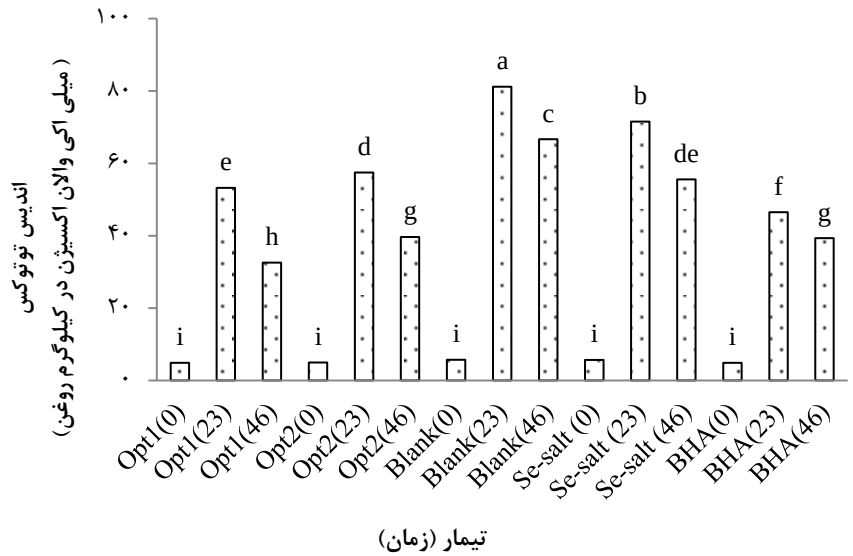
www.SID.ir

Archive of SID

اندیس توتوکس

شاخص توتوکس نشان‌دهندهٔ اکسایش کامل است و شامل فراورده‌های اولیه و ثانویهٔ اکسایش می‌باشد (Sun-Waterhouse *et al.*, 2012). این اندیس طبق فرمولی از عدد پراکسید و اندیس آنیزیدین به‌دست می‌آید و تغییرات آن تقریباً مشابه این دو اندیس است (فتح الهی و کرامت، ۱۳۹۶). همان‌طورکه نتایج نشان می‌دهد، روند تغییرات اندیس توتوکس تقریباً مشابه روند تغییرات عدد پراکسید بوده است.

باتوجه‌به نتایج شکل (۵)، کلیهٔ نمونه‌های روغن در روز صفر، پایین‌ترین اندیس توتوکس را نشان داده‌اند. میزان اندیس توتوکس از روز صفر تا روز ۲۳ دورهٔ نگهداری، یک روند افزایشی و پس از آن تا روز ۴۶ روند کاهشی داشت.



شکل ۵- اثر متقابل تیمار در زمان نگهداری (روز) بر میزان اندیس توتوکس روغن سویا (انکوبه‌شده در ۵۵ درجهٔ سانتی‌گراد)

(تیمار Opt_1: (۲۷درصد صمغ عربی، ۳ درصد صمغ فارسی، ۹۴ درصد خلوص اتانول، با غلظت *۱۸۰/۶ پی‌پی‌ام (حاوی ۳/۹۲ پی‌پی‌ام سلنیوم))، تیمار Opt_2: (۲۹ درصد صمغ عربی، ۱ درصد صمغ فارسی، ۸۹ درصد خلوص اتانول، با غلظت *۱۸۰/۶ پی‌پی‌ام (حاوی ۳/۹۲ پی‌پی‌ام سلنیوم))، تیمار Se-salt (Na_2SeO_3): نمک سلنیت سدیم با غلظت ۸/۶ پی‌پی‌ام (حاوی ۳/۹۲ پی‌پی‌ام سلنیوم)، تیمار BHA: آنتی‌اکسیدان سنتزی بوتیل‌هیدروکسی آنیزول با غلظت ۲۰۰ پی‌پی‌ام و(Blank (Antioxidant free: روغن سویای فاقد آنتی‌اکسیدان)

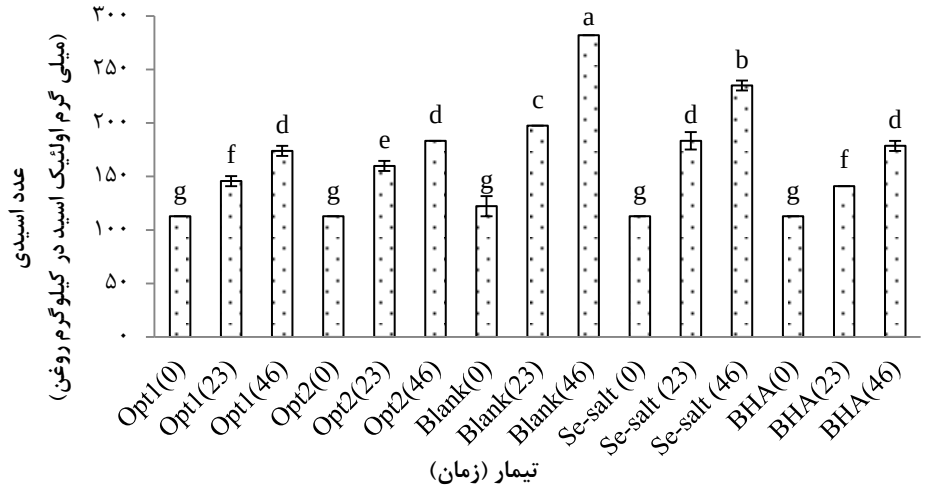
عدد اسیدی

عدد اسیدی نشان‌دهندهٔ شروع اکسایش روغن و از شاخص‌های مهم کیفی روغن در شرایط ذخیره‌سازی می‌باشد. باتوجه‌به شکل (۶)، کلیهٔ نمونه‌های روغن در روز صفر، پایین‌ترین عدد اسیدی را نشان دادند. میزان عدد اسیدی از روز صفر تا روز ۴۶ دورهٔ نگهداری، یک روند افزایشی داشت. زیرا با افزایش زمان ذخیره‌سازی، روند اکسایش شدت می‌یابد. فدوی و کوهساری (۱۳۹۴) با بررسی روغن سویا پس از افزودن عصارهٔ برگ سبزوسیاه‌شدهٔ پرتقال، نشان دادند که اسیدیتهٔ تمامی تیمارها در مدت نگهداری، کاهش می‌یابند و عصاره‌ها توانایی جلوگیری از افزایش اسیدیته را دارند.

آنتی‌اکسیدان‌های معدنی، با رادیکال‌های آزاد حاصل از اکسایش لیپیدها واکنش نشان‌داده و موجب قطع واکنش‌های زنجیره‌ای و افزایش زمان اکسایش در مقایسه با نمونهٔ شاهد فاقد آنتی‌اکسیدان گردید و ازآنجایی‌که اسیدهای آلی از محصولات نهایی اتوکسیداسیون چربی‌های غیراشباع است (Batool *et al.*, 2018) لذا شاخص اسیدی به‌طور معنی‌داری در مقایسه با نمونهٔ شاهد بدون آنتی‌اکسیدان و نمک سلنیت سدیم کاهش یافت و مشابه با نمونهٔ حاوی آنتی‌اکسیدان بوتیل هیدروکسی‌آنیزول بود.

www.SID.ir

Archive of SID



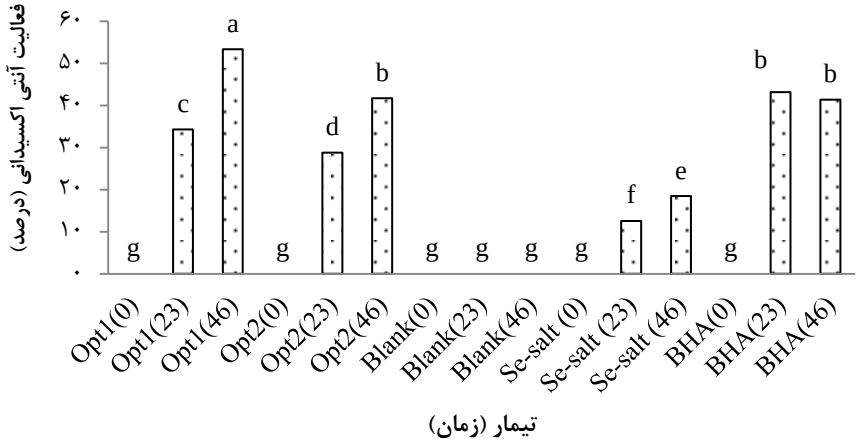
شکل ۶- اثر متقابل تیمار در زمان نگهداری (روز) بر میزان عدد اسیدی روغن سویا (انکوبه‌شده در ۵۵ درجهٔ سانتی‌گراد)

(تیمار Opt_1: (۲۷درصد صمغ عربی، ۳ درصد صمغ فارسی، ۹۴ درصد خلوص اتانول، با غلظت *۱۸۰/۶ پی‌پی‌ام (حاوی ۳/۹۲ پی‌پی‌ام سلنیوم))، تیمار Opt_2: (۲۹ درصد صمغ عربی، ۱ درصد صمغ فارسی، ۸۹ درصد خلوص اتانول، با غلظت *۱۸۰/۶ پی‌پی‌ام (حاوی ۳/۹۲ پی‌پی‌ام سلنیوم))، تیمار Se-salt (Na_2SeO_3): نمک سلنیت سدیم با غلظت ۸/۶ پی‌پی‌ام (حاوی ۳/۹۲ پی‌پی‌ام سلنیوم)، تیمار BHA: آنتی‌اکسیدان سنتزی بوتیل‌هیدروکسی آنیزول با غلظت ۲۰۰ پی‌پی‌ام و(Blank (Antioxidant free: روغن سویای فاقد آنتی‌اکسیدان)

فعالیت آنتی‌اکسیدانی

مطابق با نتایج شکل (۷)، کلیهٔ نمونه‌ها در روز صفر، فاقد فعالیت آنتی‌اکسیدانی هستند. از روز ۲۳ تا ۴۶، یک روند افزایشی در فعالیت آنتی‌اکسیدانی کلیهٔ نمونه‌ها به‌جز نمونهٔ شاهد، مشاهده گردید. همان‌طورکه عنوان کردند، مهاجرت آنتی‌اکسیدان سنتزی بوتیل هیدروکسی‌تولوئن به داخل روغن نارگیل در دمای ۲۳ درجهٔ سانتی‌گراد حتی پس از گذشت ۱۰۰ روز نیز متوقف نمی‌شود.

دراین‌راستا گزارش کردند که سیر به‌دلیل غنی‌بودن از سلنیوم و ترکیبات ارگانوسولفور، دارای فعالیت بازدارندگی رادیکال آزاد دی‌فنیل پیکریل هیدرازیل هیدرات (DPPH[1]) و همچنین بازداری اکسایش اسید لینولئیک می‌باشد.



شکل ۷- اثر متقابل تیمار در زمان نگهداری (روز) بر میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی روغن سویا (انکوبه‌شده در ۵۵ درجهٔ سانتی‌گراد)

(تیمار Opt_1: (۲۷درصد صمغ عربی، ۳ درصد صمغ فارسی، ۹۴ درصد خلوص اتانول، با غلظت *۱۸۰/۶ پی‌پی‌ام (حاوی ۳/۹۲ پی‌پی‌ام سلنیوم))، تیمار Opt_2: (۲۹ درصد صمغ عربی، ۱ درصد صمغ فارسی، ۸۹ درصد خلوص اتانول، با غلظت *۱۸۰/۶ پی‌پی‌ام (حاوی ۳/۹۲ پی‌پی‌ام سلنیوم))، تیمار Se-salt (Na_2SeO_3): نمک سلنیت سدیم با غلظت ۸/۶ پی‌پی‌ام (حاوی ۳/۹۲ پی‌پی‌ام سلنیوم)، تیمار BHA: آنتی‌اکسیدان سنتزی بوتیل‌هیدروکسی آنیزول با غلظت ۲۰۰ پی‌پی‌ام و(Blank (Antioxidant free: روغن سویای فاقد آنتی‌اکسیدان)

[1] 2,2-diphenyl-1-picryl-hydrazyl-hydrate

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری

استفاده از تکنیک ریزپوشانی با محافظت از آنتی‌اکسیدان، منجربه‌افزایش توان ضداکسایشی سلنیت سدیم شد و همچنین با رهایش کنترل‌شدهٔ سلنیت سدیم از کپسول به درون روغن، باعث افزایش پایداری اکسیداتیو روغن طی مدت زمان نگهداری شد. همچنین با حضور سلنیت سدیم میکروکپسوله‌شده و آنتی‌اکسیدان سنتزی (BHA) در روغن سویا، عدد پراکسید، عدد تیوباربیتوریک اسید، اندیس آنیزیدین، اندیس توتوکس و عدد اسیدی کاهش و فعالیت آنتی‌اکسیدانی روغن سویا افزایش یافت.

آنتی‌اکسیدان سنتزی (BHA) نسبت به نمونه‌های بهینه، بهینهٔ اول و دوم ازنظر عدد پراکسید، اندیس توتوکس و عدد اسیدی و همچنین فعالیت آنتی‌اکسیدانی در روز ۲۳ نگهداری روغن سویا در دمای ۵۵ درجهٔ سانتی‌گراد ارجحیت داشت و نمونهٔ بهینهٔ اول نسبت به نمونهٔ بهینهٔ دوم و آنتی‌اکسیدان سنتزی (BHA) از حیث عدد پراکسید و اندیس توتوکس و همچنین فعالیت آنتی‌اکسیدانی در روز ۴۶ نگهداری روغن در دمای ۵۵ درجهٔ سانتی‌گراد برتری داشت. میان نمونه‌های بهینهٔ اول و دوم و آنتی‌اکسیدان سنتزی (BHA) از حیث عدد تیوباربیتوریک اسید و اندیس آنیزیدین در روزهای ۲۳ و ۴۶ و ازنظر عدد اسیدی در روز ۴۶ تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد ($P>0/05$). در مجموع باتوجه‌به اینکه سلنیت سدیم، کاربرد زیادی در درمان بسیاری از بیماری‌ها دارد و خاصیت آنتی‌اکسیدانی آن هم به اثبات رسیده است و همچنین با درنظرگرفتن اثرات نامطلوب آنتی‌اکسیدان‌های سنتزی روی سلامتی، می‌توان آنتی‌اکسیدان سلنیت سدیم میکروکپسوله‌شده را به‌عنوان جایگزین مناسب آنتی‌اکسیدان سنتزی (BHA) جهت حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری روغن سویا به‌کار برد.

منابع

حسینی‌مظهری، س.، کبریتی، م.، غیاثی‌طرزی، ب.، گرامی، ع. و اسفندیاری، چ. (۱۳۹۱). بررسی میزان ضایعات و زائدات در واحدهای تصفیه روغن خام استان تهران. *علوم غذایی و تغذیه*، ۹(۲(۳۵))، ۴۷-۵۶.

دباغها، م. و وثوقی، م. (۱۳۹۰). استخراج آبی آنزیمی روغن از دانه روغنی سویا. *مجله علوم و صنایع غذایی*، ۸(۲۸ (ویژه نامه))، ۷۳-۸۱.

سازمان ملی استاندارد ایران. (۱۳۸۷). روغن‌ها و چربی‌های گیاهی و حیوانی-اندازه‌گیری مقدار پراکسید به روش یدومتری-تعیین نقطهٔ پایانی به طریق چشمی (استاندارد ملی ایران، شمارهٔ ۴۱۷۹، تجدیدنظر اول)، برگرفته از http://standard.isiri.gov.ir/StandardView.aspx?Id=44376

سازمان ملی استاندارد ایران. (۱۳۹۵). روغن‌ها و چربی‌های گیاهی و حیوانی-اندازه‌گیری پایداری اکسیداتیور (روش تسریع شده)-روش آزمون. (استاندارد ملی ایران، شمارهٔ ۳۷۳۴، تجدیدنظر دوم)، برگرفته از http://standard.isiri.gov.ir/StandardView.aspx?Id=47422

فتح الهی، ا. و کرامت، ج. (۱۳۹۶-اردیبهشت). اثر آنتی اکسیدانی اسانس چغندر و هویج در پایداری روغن سویا. ارائه شده در اولین همایش ملی تکنولوژی های نوین در علوم و صنایع غذایی و گردشگری ایران، کرمان، ۲۲ اردیبهشت. https://www.civilica.com/Paper-FITI01-FITI01_037.html

فدوی، ا. و کوهساری، ه. (۱۳۹۴). اثرات ضد اکسندگی و ضد میکروبی عصاره برگ درخت پرتقال (*Citrus sinensis*) کشت شده در ایران و بررسی پایداری اکسیداسیون روغن سویای غنی سازی شده با آن. *فناوری‌های نوین غذایی*، ۲(۳)، ۸۵-۹۶. doi:https://doi.org/10.22104/jift.2015.128

قنبری، ر.، قوامی، م. و صفافر، ح. (۱۳۸۵). بررسی امکان تولید آنتی اکسیدان طبیعی از گیاه مریم گلی و تاثیر آن در افزایش زمان ماندگاری روغن دنبه، کانولا، پنبه دانه. علوم غذایی و تغذیه، ۳(۳)، ۱۸-۲۶.

کبیری، س. و سیدالنگی، س.ز. (۱۳۹۴). مقایسه ویژگی های آنتی اکسیدانی عصاره های مختلف برگ گیاه بادرنجبویه (*Melissa officinalis*) حاصل از دو روش استخراج غرقابی و استخراج به کمک امواج مایکروویو و تاثیر آن بر پایداری اکسایشی روغن سویا. *فناوری‌های نوین غذایی*، ۲(۴)، ۲۳-۳۸. doi:https://doi.org/10.22104/jift.2015.201

محمدی، ر.، فاضل، م. و خسروی، ا. (۱۳۹۵). بررسی اثر آنتی اکسیدانی عصاره گیاه بیلهر (*Dorema aucheri*) بر پایداری روغن سویا. علوم غذایی و تغذیه، ۱۴(۱ (۵۳))، ۷۷-۸۸.

www.SID.ir

Archive of SID

یارنظری، آ.، نوروزی‌یگانه، م.، پورصالح‌کچومثقالی، ع.، زارعی، ر.، نجفی، م. و اسفندیاری، گ. (۱۳۹۵). بررسی ارتباط برخی از ترکیبات آنتی اکسیدانی در افراد با آب سیاه (گلوکوم). مجله علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی ایلام، ۲۴(۶)، ۱۲۷-۱۳۷. doi:https://doi.org/10.18869/acadpub.sjimu.24.6.127

Agarwal, A., & Prabakaran, S. A. (2005). Mechanism, measurement, and prevention of oxidative stress in male reproductive physiology. *NISCAIR-CSIR, India*, *43*(11), 963-974.

Ahmadi, F., Kadivar, M., & Shahedi, M. (2007). Antioxidant activity of Kelussia odoratissima Mozaff. in model and food systems. *Food chemistry*, *105*(1), 57-64. doi:https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.03.056

AOAC. (2005). Official methods of analysis of the Association of Analytical Chemists International (18th Ed.): 481. North Fredrick Avenue Gaithersburg, Maryland, USA.

Armando, C., Maythe, S., & Beatriz, N. P. (1998). Antioxidant activity of grapefruit seed extract on vegetable oils. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *77*(4), 463-467. doi: https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199808)77:4<463::AID-JSFA62>3.0.CO;2-1

Batool, M., Nadeem, M., Imran, M., Gulzar, N., Shahid, M. Q., Shahbaz, M., . . . Khan, I. T. (2018). Impact of vitamin E and selenium on antioxidant capacity and lipid oxidation of cheddar cheese in accelerated ripening. *Lipids in health and disease*, *17*(1), 79. doi:https://doi.org/10.1186/s12944-018-0735-3

Ben-Ali, M., Dhouib, K., Damak, M., & Allouche, N. (2014). Stabilization of sunflower oil during accelerated storage: use of basil extract as a potential alternative to synthetic antioxidants. *International journal of food properties*, *17*(7), 1547-1559. doi:https://doi.org/10.1080/10942912.2012.723659

Combs, G., & Combs, S. (1984). The nutritional biochemistry of selenium. *Annual review of nutrition*, *4*(1), 257-280. doi:https://doi.org/10.1146/annurev.nu.04.070184.001353

Dabbaghha, M., & Vossoughi, M. (2011). Effect of operational variables on aqueous enzymatic oil extraction from soybean. *Iranian Journal Of Food Science And Technology*, *8*(28), 73-81 . (in Persian)

Djujić ,I. S., Jozanov-Stankov, O. N., Milovac, M., Janković, V., & Djermanović, V. (2000). Bioavailability and possible benefits of wheat intake naturally enriched with selenium and its products. *Biological Trace Element Research*, *77*(3), 273-285. doi:https://doi.org/10.1385/BTER:77:3:273

Dziezak, J. (1986). Preservatives: antioxidants. The ultimate answer to oxidation. *Food technology (Chicago)*, *40*(9), 94-102 .

Egan, H., Kirk, S., & Sawyer, R. (1997). *Pearson's composition and analysis of foods* London: (9th Ed .(Longman Scientific and Technical Group Ltd. 609-634.

Eskin, M., & Robinson, D. S. (2000). *Food shelf life stability: chemical, biochemical, and microbiological changes*: CRC Press.

Fadavi, A., & Koohsari, H. (2015). Antioxidant and antimicrobial effects of orange (Citrus sinensis) leaves extract cultivated in Iran and stability investigation of soybean oil enriched with that. *Innovative Food Technologies*, *2*(3), 85-96. doi:https://doi.org/10.22104/jift.2015.128 (in Persian)

Farag, R. S., Mahmoud, E. A., & Basuny, A .M. (2007). Use crude olive leaf juice as a natural antioxidant for the stability of sunflower oil during heating. *International Journal of Food Science & Technology*, *42*(1), 107-115. doi:https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01374.x

Fathollahi, A., & Keramat, j. (2017, May). *Anti-Oxidative Activities of Carrot and Beet Extract on Soybean Oil*. Paper presented at the 1st National Conference on New Technologies in Food Science and Tourism, Sari, 11 May. https://www.civilica.com/Paper-FITI01-FITI01_037.html (in Persian)

Firestone, D. (1994). AOCS, Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society. 4th Ed.: AOCS Press, Champaign.

Fraga, C. G. (2005). Relevance, essentiality and toxicity of trace elements in human health. *Molecular Aspects of Medicine*, *26*(4), 235-244. doi:https://doi.org/10.1016/j.mam.2005.07.013

Ghanbari, R., Ghavami, M., & Safafar, H. (2006). Evaluation of the possibility of natural antioxidant production from salvia officinalis increase shelf life of oily, canola, cottonseed oil. *Journal of Food Science and Technology*, *3*, 18-26 . (in Persian)

www.SID.ir

Archive of SID

Gupta, C., Chawla, P., Arora, S., Tomar, S. K., & Singh, A. K. (2015). Iron microencapsulation with blend of gum arabic, maltodextrin and modified starch using modified solvent evaporation method – Milk fortification. *Food Hydrocolloids, 43*, 622-628. doi:https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.07.021

Haumann, B. (1994). Antioxidants: health implications. *Inform, 5*, 242-252 .

Hoseini Mazhari, S. Z., Kebriti, M., Gerami, A., Ghiassi, B., & Esfandyari, C. (2011). Survey on the rate of losses and wastes in crude oil treatment units in Tehran province. *Food Technology & Nutrition, 9*(3-35), 47-56 . (in Persian)

Iranian National Standardization Organization. (2017). Animl and vegetable fast and oils-Determination of oxidative stability (accelerated oxidation)-test method. (ISIRI Standard No. 3734, 2nd. Revision). Retrieved from http://standard.isiri.gov.ir/StandardView.aspx?Id=47422 (in Persian)

Iranian National Standardization Organization. (2008). Animal and vegetable fast and oils-Determination of peroxide value-Iodometric (visual) endpoint determination. (ISIRI Standard No. 4179, 1st. Revision). Retrieved from http://standard.isiri.gov.ir/StandardView.aspx?Id=44376 (in Persian)

Kabiri, S., & Sayyed-Alangi, S. Z. (2015). Comparison of Antioxidant effect of different extracts from Melissa officinalis leaves with immersion and microwave-assisted extractions and its oxidative stability on soybean oil. *Innovative Food Technologies, 2*(4), 23-38. doi:https://doi.org/10.22104/jift.2015.201 (in Persian)

Labuza, T. P., & Schmidl, M. K. (1985). Accelerated shelf-life testing of foods. *Food technology (USA), 39*(9), 57-64 .

Martínez, M. L., Penci, M. C., Ixtaina, V., Ribotta, P. D., & Maestri, D. (2013). Effect of natural and synthetic antioxidants on the oxidative stability of walnut oil under different storage conditions. *LWT - Food Science and Technology, 51*(1), 44-50. doi:https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.10.021

Meltzer, H. M., Bibow, K., Paulsen, I. T., Mundal, H. H., Norheim, G., & Holm, H. (1993 .(Different bioavailability in humans of wheat and fish selenium as measured by blood platelet response to increased dietary Se. *Biological Trace Element Research, 36*(3), 229-241. doi:https://doi.org/10.1007/BF02783957

Mohammadi, R., Fazel, M., & Khosravi ,E. (2017). Evaluation of the antioxidant activity of dorema aucheri extract in soybean oil. *Journal Of Food Technology And Nutrition, 14*(1-53), 77-88 . (in Persian)

Ortega-Ramirez, L. A., Rodriguez-Garcia, I., Leyva, J. M., Cruz-Valenzuela, M. R., Silva-Espinoza, B .A., Gonzalez-Aguilar, G. A., . . . Ayala-Zavala, J. F. (2014). Potential of medicinal plants as antimicrobial and antioxidant agents in food industry: a hypothesis. *Journal of food science, 79*(2), R129-R137. doi:https://doi.org/10.1111/1750-3841.12341

Rotruck, J. T., Pope, A. L., Ganther, H. E., Swanson, A. B., Hafeman, D. G., & Hoekstra, W. G. (1973). Selenium: Biochemical Role as a Component of Glutathione Peroxidase. *Science, 179*(4073), 588. doi:https://doi.org/10.1126/science.179.4073.588

Sariri, R. (2012). 10. Antioxidant activity exhibited by medicinal plants, vegetables and fruits from North of Iran. *Research Signpost, Fort PO Trivandrum, Kerala, India*, 205-236 .

Stewart, W., Bobe, G., Vorachek, W., Pirelli, G., Mosher, W., Nichols, T., . . . Hall ,J. (2012). Organic and inorganic selenium: II. Transfer efficiency from ewes to lambs1. *Journal of Animal Science, 90*(2), 577-584. doi:https://doi.org/10.2527/jas.2011-4076

Sun-Waterhouse, D., Penin-Peyta, L., Wadhwa, S. S., & Waterhouse, G. I. N. (2012 .(Storage Stability of Phenolic-Fortified Avocado Oil Encapsulated Using Different Polymer Formulations and Co-extrusion Technology. *Food and Bioprocess Technology, 5*(8), 3090-3102. doi:https://doi.org/10.1007/s11947-011-0591-x

Tompkins, C., & Perkins, E .G. (1999). The evaluation of frying oils with the p-Anisidine value. *Journal of the American Oil Chemists' Society, 76*(8), 945-947. doi:https://doi.org/10.1007/s11746-999-0111-6

Wanasundara, P. K. J. P. D., & Shahidi, F. (2005). Antioxidants: Science, Technology, and Applications. *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*. doi:https://doi.org10.1002/047167849X.bio002

Wanasundara, U. N., & Shahidi, F. (1996). Stabilization of seal blubber and menhaden oils with green tea catechins. *Journal of the American Oil Chemists' Society, 73*(9), 1183-1190. doi:https://doi.org/10.1007/BF02523382

White, P. J., Bowen, H. C., Parmaguru, P., Fritz, M., Spracklen, W. P., Spiby, R. E., . . . Broadley, M. R. (2004). Interactions between selenium and sulphur nutrition in Arabidopsis thaliana. *Journal of Experimental Botany, 55*(404), 1927-1937. doi:https://doi.org/10.1093/jxb/erh192

Yarnazai, A., Nourozi yeganeh, M., Poursaleh kachoumesghali, A., Zarei, R., Najafi, M., & Esfandiari, G. (2017). The Study of Relationships between Some Antioxidants in Patients with Glaucoma. *Ilam-University-of-Medical-Sciences, 24*(6), 127-137. doi:https://doi.org/10.18869/acadpub.sjimu.24.6.127 (in Persian)

www.SID.ir

Archive of SID

Comparison of the Antioxidant Effect of Microencapsulated and Un-microencapsulated Sodium Selenite with Butyl Hydroxyanisole in Soybean Oil

Sepideh Moshtaghi[1], Mohammad Goli[2*]

1- MSc. Student, Department of Food Science and Technology, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran
2- Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran
*Corresponding author (mgolifood@yahoo.com)

Abstract

Microencapsulation of sodium selenite (15000 ppm) was carried out, comprising the following combination: Arabic gum (25, 26, 27, 28 and 29%) and a proportionate amount of Farsi gum (1, 2, 3, 4 and 5%) and using the solvent evaporation method, where the Ethanol purity percentages (80, 85, 90, 95 and 100%) and the ratio of solvent to the mixture [gum+sodium selenite] was 10:1. Subsequently, utilizing the response surface methodology (RSM) software, the optimization was carried out based on the highest efficiency of encapsulation and the smallest size of particles. Two formulas of the optimization were chosen for this study comprised the following: the optimization formula 1 (efficiency 89.5%, particle-size 44.6μm, Arabic gum 27%, Farsi gum 3%, and the percentage of ethanol purity 94%) and the optimization formula 2 (efficiency 86%, particle-size 48.5 μm, Arabic gum 29%, Farsi gum 1%, and the percentage of ethanol purity 89%). Ultimately, the two selected optimal (180.6 ppm), the synthetic antioxidants butylated hydroxyanisole (BHA) (200 ppm), and the un-microencapsulated sodium-selenite(8.6 ppm) were added to antioxidant-free soybean oil and then were placed at the 55 °C for (0, 23 and 46 days) equal to 20 °C (0, 180 and 360 days). The oxidation indices were compared with soybean oil that did not contain anti-oxidant. A direct relation was detected between the concentration of Arabic gum and alcohol purity percentage with the efficiency of the encapsulation (94.63%). A reverse relation was detected between the concentration of Arabic gum and alcohol purity percentage with the particle-size (37.5 μm). The effective and propositional treatments are presented including, Opt1, Opt2, BHA, un-microencapsulated sodium-selenite and blank (antioxidant-free), respectively.

Keywords: Antioxidant activity, Arabic-Farsi gum, Microencapsulation, Sodium-selenite, Soybean oil

www.SID.ir