

مقاله پژوهشی

بررسی استرول‌ها، اسیدهای چرب و شاخص‌های کیفی عصاره لیپیدی حاصل از محصولات جانبی میگوی ببری سبز (*Penaeus semisulcatus*)

زهرا موسوی^۱، سید فخرالدین حسینی^{۲*}^۱ دانشجوی دکتری، گروه فرآوری محصولات شیلاتی، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران^۲ دانشیار، گروه فرآوری محصولات شیلاتی، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

(تاریخ ارسال: ۱۴۰۴/۰۲/۱۴، تاریخ آخرین بازنگری: ۱۴۰۴/۰۵/۲۵، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۲۹)

چکیده

باقی‌مانده‌های مواد خام حاصل از فرآوری میگو منبعی از مواد زیست‌فعال ارزشمند (مانند لیپیدها و آستازانتین، یک کاروتنوئید با ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بسیار قوی) جهت استفاده در صنایع غذا دارویی و آرایشی بهداشتی هستند. استخراج این ترکیبات نه تنها می‌تواند اثرات زیست‌محیطی مرتبط با ضایعات حاصل از فرآوری میگو را کاهش دهد، بلکه منجر به مزایای اقتصادی نیز می‌گردد. لذا، هدف از مطالعه حاضر، استخراج عصاره لیپیدی غنی از آستازانتین از محصولات جانبی میگوی ببری سبز (*Penaeus semisulcatus*) و بررسی استرول‌ها، اسیدهای چرب، میزان آستازانتین و شاخص‌های کیفی عصاره لیپیدی استخراج شده بود. نتایج نشان داد: بازده استخراج لیپید ۲/۸۱٪، میزان بازیابی آستازانتین ۱۰/۳۴ mg/100g روغن و شاخص رنگ‌سنجی a^* که بیانگر کیفیت مناسب رنگی است، ۱۸/۱۳ بود. بررسی ترکیب اسیدهای چرب با آنالیز کروماتوگرافی گازی (GC) نیز نشان داد عصاره لیپیدی میگو غنی از اسیدهای چرب چندغیراشباع امگا-۳ (ω-3 PUFA) (۱۳/۰۳٪) می‌باشد که اهمیت این منبع لیپیدی را نشان می‌دهد. مقدار کلسترول موجود در عصاره لیپیدی میگو در حدود ۵۷۰ mg / ۱۰۰ g روغن بود که مطابق مقادیر گزارش شده در خصوص محصولات دریایی بود. همچنین، آنالیز ترکیبات لیپیدی نشان داد که عصاره لیپیدی از ۱۳ ترکیب مختلف تشکیل شده است که بیشترین مقدار مربوط به ترکیب Cholesta-3,5-diene می‌باشد. بررسی پایداری اکسایشی عصاره لیپیدی نیز مؤید آن بود که مقادیر شاخص‌های اکسیداسیون (پراکسید: ۲/۲۱ mg/kg هیدروپراکسید کومن/ لیپید و اسید تیوباربیتوریک: ۰/۳۱ mg/kg مالون‌آلدئید/ لیپید) در سطح مطلوبی قرار دارد. این ویژگی‌ها، محصولات جانبی میگوی ببری سبز را به عنوان یک منبع با ارزش از ترکیبات زیست‌فعال و اسیدهای چرب مفید معرفی می‌کند که می‌تواند در صنایع غذایی، غذا دارویی و آرایشی بهداشتی مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: محصولات جانبی میگو؛ عصاره لیپیدی؛ آستازانتین؛ اسیدهای چرب چندغیر اشباع؛ کلسترول.

۱. مقدمه

افزایش تقاضای میگو، به‌ویژه به شکل آماده برای طبخ یا آماده مصرف، منجر به افزایش میزان فراآوری میگو شده است [۱]. طی فراآوری میگو، در حدود ۵۰-۴۰٪ محصولات جانبی به شکل سفالوتوراکس، کاراپاس، دم و اندام‌های داخلی تولید می‌شود که غالباً دور ریخته می‌شوند و باعث مشکلات زیست‌محیطی می‌گردند [۲]. در این راستا، مدیریت بهینه محصولات جانبی میگو نه‌تنها می‌تواند آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از دفع ضایعات را به حداقل رساند، بلکه با استخراج ترکیبات با ارزش از محصولات جانبی، می‌تواند به توسعه پایدار و افزایش سودآوری صنعت منجر شود [۳]. باقی‌مانده‌های مواد خام حاصل از فراآوری میگو حاوی تقریباً ۱۵-۵٪ چربی، ۴۰٪ پروتئین، ۳۵٪ مواد معدنی، ۱۴ تا ۳۰٪ کیتین و آستازانتین ($148-23 \mu\text{g/g}$ ضایعات خشک) است [۴]. عصاره لیپیدی میگو حاوی مقادیر بالایی از اسیدهای چرب چندغیراشباع امگا-۳ ($\omega-3$ PUFA) به‌ویژه ایکوزاپنتانوئیک اسید (EPA) و دوکوزاهگزانوئیک اسید (DHA) است [۵]. عصاره لیپیدی میگو همچنین حاوی اسیدهای چرب اشباع شده (SFAs)^۱ است که می‌تواند منجر به افزایش سطح لیپوپروتئین با چگالی کم و تغییر پاسخ التهابی شود [۶]. راجو و همکاران [۷] گزارش کردند که سفالوتوراکس میگو دارای محتوای چربی $0.41 \pm 0.11/79$ ٪ است، درحالی‌که کاراپاس و دم حاوی $0.34 \pm 0.3/73$ ٪ چربی می‌باشند.

به‌علاوه، لیپید میگو سرشار از آستازانتین می‌باشد که برای بهبود سلامت انسان بسیار مفید می‌باشد. آستازانتین یک کاروتنوئید مهم با توانایی تخریب‌کنندگی رادیکال‌های آزاد و ۵۰۰ برابر فعالیت ضداکسیدانی بالاتر از توکوفرول (ویتامین E) می‌باشد. بنابراین، آستازانتین یک «سوپر ویتامین E» نامیده می‌شود که به‌دلیل ساختار مولکولی منحصر به فرد خود، دارای قابلیت‌های آنتی‌اکسیدانی عالی است [۸].

اگرچه عصاره لیپیدی میگو غنی از ترکیبات زیست‌فعال است، در عین حال حاوی کلسترول نیز می‌باشد [۹]. گزارش شده است لیپید استخراج شده از سفالوتوراکس میگوی

پاسفید غربی (*Litopenaeus vannamei*) حاوی ۷۰-۶۵ mg/100g کلسترول/ لیپید است [۷، ۴]. علی‌رغم نیاز بدن به کلسترول به‌منظور ساخت هورمون‌ها، ویتامین D و غیره، سطوح بالای کلسترول می‌تواند با مواد دیگر ترکیب و باعث تصلب شرایین و پلاک خون شود [۱۰]. در این راستا، راجو و همکاران [۱۱]، جهت بهبود کیفیت تغذیه‌ای لیپید استخراج شده از سفالوتوراکس میگوی پاسفید غربی (*L. vannamei*) مقادیر کلسترول را با به‌کارگیری ساپونین و بتا سیکلودکسترین کاهش دادند، بطوریکه در حدود ۹۸/۴٪ کلسترول از عصاره لیپیدی غنی از کلسترول که در آن از سیکلودکسترین (b-CD)/حلال‌های مخلوط (اتیل استات/آب، ۱:۱) به نسبت ۱:۱۰:۲۰ (حجمی/وزنی/وزنی) استفاده شده بود، حذف شد. همچنین، محتوای آستازانتین در مقایسه با نمونه حاوی لیپید، سه برابر و ایکوزاپنتانوئیک اسید (EPA) و دوکوزاهگزانوئیک اسید (DHA) نیز به‌طور قابل توجهی افزایش یافتند. عارف و همکاران [۱۲] نیز اثرات تجویز مکمل روغن میگو بر عوامل خطر قلبی-متابولیک در کودکان و نوجوانان دارای اضافه‌وزن را به مدت ۸ هفته (روزانه ۵۰۰ mg مصرف روغن میگو تأثیر معنی‌داری بر سطوح کلسترول کل، تری‌گلیسرید، HDL-C^۲ و LDL-C^۳ نشان نداد. همچنین، تفاوت آماری معنی‌داری در فشار خون سیستولیک^۴ و دیاستولیک^۵ بین دو گروه مشاهده نشد و تغییراتی در شاخص توده بدنی (BMI^۶) نیز ایجاد نشد. در مطالعه‌ای دیگر، اثرات محافظتی لیپیدهای مشتق شده از میگو (SL^۷) در برابر آسیب سلول‌های اندوتلیال^۸ ناشی از استرس شبکه آندوپلاسمی، که یک عامل کلیدی در بیماری‌های قلبی عروقی است، بررسی شد. نتایج نشان داد که پیش‌درمانی با SL ($250-500 \mu\text{g/ml}$) به‌طور قابل توجهی زنده ماندن سلول‌های اندوتلیال تحت استرس را بهبود می‌بخشد. به‌طوری‌که سلول‌هایی که به تنهایی در معرض تاپسیگارگین

2. High-density lipoprotein cholesterol

3. Low-Density Lipoprotein Cholesterol

4. Systolic

5. Diastolic

6. Body Mass Index

7. Shrimp-derived lipids

8. Endothelial cells

1. Saturated fatty acids

استخراج برای مدت زمان ۲ ساعت در دمای 50°C با نسبت نمونه به حلال ثابت (۱ به ۴، وزنی/حجمی) انجام شد. در ادامه، لیپیدهای به دست آمده تحت خلاء با استفاده از تبخیرکننده چرخشی تغلیظ شدند.

۲.۲. بازدهی لیپید کل

بازدهی کل با استفاده از معادله زیر با محاسبه جرم عصاره بدست آمده از استخراج سوکسله و وزن ضایعات مورد استفاده برای استخراج، تعیین شد [۱۶].

$$(۱) \quad (\%) \text{ بازدهی کل} = \frac{\text{وزن عصاره لیپیدی}}{\text{وزن ضایعات}} \times 100$$

۳.۲. تعیین غلظت آستازانتین

غلظت آستازانتین با اندازه‌گیری جذب در طول موج ۴۶۲ nm با استفاده از یک اسپکتروفتومتر ۲۵ Perkin Elmer lambda انجام شد. از استاندارد آستازانتین (Sigma Chemical, St. Louis, MO, USA) برای تعیین منحنی کالیبراسیون استفاده شد. محلول مادر استاندارد آستازانتین با حل کردن ۱ mg ماده در ۱۰۰ ml متانول تهیه شد. محلول‌های مادر به صورت سریالی با متانول رقیق شدند تا محلول‌های استاندارد به منظور کالیبراسیون تهیه شوند [۱۷].

۴.۲. سنجش رنگ

رنگ عصاره لیپیدی با استفاده از دستگاه رنگ‌سنج قابل حمل (Micromatch™ Plus, Sheen 181/3, آلمان) اندازه‌گیری شد. نتایج به صورت L^* ، a^* و b^* بیان شد که در آن مقدار L^* «روشنایی» یک نمونه از ۰ تا ۱۰۰ است که عدد ۱۰۰ نمایانگر رنگ سفید خالص است، مقدار a^* قرمز (+) تا سبز (-) و مقدار b^* نشان‌دهنده زرد (+) تا آبی (-) است [۱۸].

۵.۲. پروفایل اسیدهای چرب

به منظور بررسی و شناسایی اسیدهای چرب موجود در نمونه از روش Metcalfe و همکاران [۱۹] استفاده شد. حدود ۱۵۰ ml نمونه با ۴ ml محلول متانولی سود (۰/۵ M) مخلوط و به مدت ۵ دقیقه در حمام آب با دمای 100°C

(T_g) قرار گرفتند، ۴۴/۹۷٪ زنده‌مانی را نشان دادند، در حالی که پیش‌ تیمار SL زنده‌مانی را به ۷۷/۲۶٪ ($\mu\text{g/ml}$ ۲۵۰ و ۷۲/۴۲٪ ($500 \mu\text{g/ml}$) افزایش داد [۱۳].

میگوی ببری سبز (*Penaeus semisulcatus*) یکی از گونه‌های مهم تیره پنائوس است که بیشترین فراوانی و اهمیت اقتصادی را در صید استان‌های بوشهر و خوزستان دارد. طبق آمار سازمان تحقیقات شیلات ایران (IFRO)، میزان تخمینی صید این گونه در سال ۱۴۰۰ حدود ۷۹۴۲ تن بود [۱۴]. با این حال، ترکیب اسیدهای چرب و محتوای کلسترول موجود در عصاره لیپیدی محصولات جانبی میگوی ببری سبز مورد مطالعه قرار نگرفته است. لذا، مشخص نمودن ترکیب اسیدهای چرب، کلسترول، محتوای آستازانتین و شاخص‌های اکسایشی می‌تواند اطلاعات مفیدی در خصوص خواص تغذیه‌ای عصاره لیپیدی در اختیار قرار دهد. در مطالعه حاضر، برای اولین بار ترکیب اسیدهای چرب، مقدار کلسترول، محتوای آستازانتین، میزان باقی‌مانده حلال و شاخص‌های کیفیتی عصاره لیپیدی (پراکسید، PV و تیوباربیتوریک اسید، TBA) میگوی ببری سبز جهت کاربردهای غذا دارویی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. استخراج عصاره لیپیدی میگو

ضایعات میگوی ببری سبز از مراکز فرآوری میگو در استان بوشهر تهیه شد. نمونه‌ها در ظرف پلی‌اتیلن حاوی یخ (با نسبت ۱:۴) قرار گرفتند و به آزمایشگاه فناوری نانو، دانشکده علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس منتقل شدند. محصولات جانبی میگو (سفالوتوراکس، پوسته و دم) پس از شستشو، به مدت ۴۸ ساعت در خشک‌کن انجمادی (OPR- Operon, FDU-7012، کره) خشک گردید. سپس در یک خردکن آزمایشگاهی (Moulinex, Depose، ایتالیا) خرد شده و با یک غربال با اندازه منافذ ۴۵۰ میکرومتر الک شدند. به منظور استخراج عصاره لیپیدی از ضایعات میگو، از روش سوکسله استفاده شد [۱۵]. بدین منظور، ۳ gr ضایعات میگو در فنجان‌های مخصوص سوکسله قرار داده شد که به تدریج با حلال هگزان/ استون (نسبت ۵۰:۵۰ حجمی) پر شدند.



تبدیل و به دستگاه GC تزریق شدند. جداسازی بر روی ستون موبینه با فاز ساکن غیرقطبی انجام شد و از آشکارساز FID برای تشخیص استفاده گردید.

۸.۲. بررسی پروفایل عصاره لیپیدی

برای تعیین پروفایل یک روغن ناشناخته، می‌توان از روش‌های مختلفی استفاده کرد که یکی از رایج‌ترین آن‌ها کروماتوگرافی گازی (GC) است. بدین منظور از دستگاه GC-MS Capillary Column: 30m, 0.25mm, 0.5µm استفاده شد. زمان بازداری هر پیک با استانداردهای شناخته‌شده مقایسه شد تا ترکیبات موجود شناسایی شوند. در نتیجه مساحت زیر هر پیک برای تعیین غلظت نسبی یا مطلق هر ترکیب مورد استفاده قرار گرفت.

۹.۲. بررسی شاخص‌های کیفیت عصاره لیپیدی میگو

۱.۹.۲. سنجش مقادیر پراکسید (PV^۱)

میزان پراکسید نمونه‌های لیپیدی با استفاده از روش گلزار و بنجاکول [۲۲] تعیین شد. ۵۰ µl نمونه با استفاده از اتانول ۷۵٪ (حجمی - حجمی) ده برابر رقیق شد. در ادامه، حدود ۲/۳۵ ml نمونه آماده شده به ۵۰ µl تیوسیانات آمونیوم ۳۰٪ (حجمی - حجمی) و ۵۰ µl محلول ۲۰ mM کلرید فروس در ۳/۵٪ HCl (وزنی - حجمی) اضافه شد. این مخلوط کاملاً هم‌زده شد و تغییرات رنگ آن با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر (طول موج ۵۰۰ nm) تشخیص داده شد. غلظت هیدروپراکسید با رسم منحنی استاندارد ساخته شده از هیدروپراکسید کومن (۵-۲۰ ml/kg) تعیین و مقادیر به‌صورت هیدروپروکسید کومن/عصاره لیپید بیان شد.

۲.۹.۲. اندازه‌گیری مواد واکنش‌دهنده اسید

تیوباربیتوریک (TBARS^۲)

مقادیر TBARS عصاره لیپیدی استخراج شده از محصولات جانبی میگو با روش راجوو و بنجاکول [۲۳] تعیین شد. ابتدا نمونه چربی (۵g) با ۲/۵ ml محلول اسید تیوباربیتوریک (TBA ۳۷۵٪ (وزنی - حجمی)، اسیدتری کلرواستیک ۱۵٪ (وزنی - حجمی) و HCl (۲۵ M) مخلوط شده و سپس در آب

حرارت داده شد. سپس، ۵ml محلول متانولی بورون‌تری‌فلوئوراید (BF₃) (۱۲٪) اضافه شد و مخلوط به مدت ۳۰ دقیقه گرم شد. جداسازی فاز با ۵ ml محلول کلریدسدیم اشباع و با استفاده از ۱ ml هگزان به‌عنوان حلال استخراج‌کننده انجام شد. از دستگاه کروماتوگرافی گازی با آشکارساز یونش شعله (GC-FID) با استفاده از ستون مویرگی BPX70 SGE (قطر ۰/۲۵ mm، ضخامت فیلم ۰/۱ µm، طول ۶۰ m، کمپانی SGE، انگلستان) جهت شناسایی اسیدهای چرب استفاده شد. دمای ستون به مدت ۵ دقیقه روی ۱۶۰°C تنظیم شد، که پس از آن با سرعت ۲۰°C در دقیقه به ۱۸۰°C افزایش یافت و به مدت ۹ دقیقه در ۱۸۰°C حفظ شد. سپس، دما با سرعت ۱°C در دقیقه به ۱۹۰°C افزایش یافت و به مدت ۱۰ دقیقه حفظ شد. دمای آشکارساز و تزریق‌کننده به ترتیب در ۲۴۰°C و ۲۸۰°C تنظیم شد. هلیوم به‌عنوان گاز حامل GC استفاده شد. در نهایت از نرم‌افزار Varian Star Chromatography (نسخه ۶،۴۱) برای محاسبه مساحت پیک‌ها استفاده شد.

۶.۲. اندازه‌گیری باقی‌مانده حلال در عصاره لیپیدی

استخراج شده

اندازه‌گیری ترکیبات فرار در نمونه به روش استخراج بخار با استفاده از دستگاه GS-MS انجام شد. ابتدا مقدار ۰/۵ g نمونه را برداشته و به ظرف مخصوص نمونه‌برداری دستگاه منتقل کرده و به‌صورت حرارتی استخراج و بخارات آن به دستگاه GC-MS capillary Column: 30m, 0.25mm, 0. (۵µm) تزریق شد [۲۰].

۷.۲. سنجش میزان استرول

جهت سنجش استرول‌های موجود در عصاره لیپیدی حاصل از محصولات جانبی میگو، از استاندارد ملی ایران به شماره ۹۶۷۰ [۲۱] و روش مبتنی بر GC-FID استفاده گردید. نمونه لیپیدی با محلول هیدروکسید پتاسیم (۵M/l) در اتانول (۹۵٪) حرارت داده شد تا فرآیند صابونی‌سازی انجام شود. سپس، استرول‌های آزاد شده با استفاده از اتر (۱۰ml) استخراج شدند. در ادامه، استرول‌های استخراج‌شده جهت بهبود جداسازی، به مشتقات سیلیله

1. Peroxide value

2. Thiobarbituric acid reactive substances

نقش مهمی در فرآیند استخراج عصاره‌های حاوی کاروتنوئید دارد. عصاره لیپیدی میگو عمدتاً حاوی فسفولیپیدهایی است که طبیعت قطبی دارند؛ بنابراین، یک حلال قطبی برای استخراج موثر مورد نیاز است. از طرف دیگر، کاروتنوئیدها در حلال‌های غیرقطبی محلول هستند و برای استخراج به حلال‌های غیرقطبی نیاز دارند [۲۵]. لذا، مخلوطی از حلال‌های قطبی/ غیرقطبی برای استخراج عصاره لیپیدی میگو می‌تواند اثر هم‌افزایی داشته باشد. مشابه این پژوهش، مطالعه بر روی غربالگری حلال مناسب جهت استخراج لیپیدها از سفالوتوراکس میگوی پاسفید غربی (*L. vannamei*) نشان داد که مخلوط حلال‌های غیرقطبی-قطبی (هگزان/ ایزوپروپانول با نسبت ۱:۱، حجمی/حجمی) منجر به بالاترین بازده استخراج لیپیدها ($0.90 \pm 0.25/44$ ٪ بر اساس وزن خشک) می‌گردد [۲۶]. اثرات حلال‌های مختلف (هگزان، استون، اتانول، مخلوط هگزان/ اتانول (c/c) ۱:۴، ۱:۲، ۱:۱) و مخلوط استون/ اتانول (c/c) ۱:۴، ۱:۲، ۱:۱ بر عملکرد استخراج و ترکیب شیمیایی عصاره لیپیدی استخراج شده از محصولات جانبی میگوی دریایی پاسفید غربی (*L. vannamei*) و میگوی آب شیرین (*Procambarus clarkia*) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مخلوط اتانول/ هگزان (قطبی/ غیرقطبی) (۴:۱، حجمی/حجمی) حلال مناسبی جهت استخراج همزمان لیپیدهای قطبی و غیرقطبی است [۲۵]. این یافته‌ها پتانسیل محصولات جانبی میگو را به عنوان منبع ارزشمند روغن و ترکیبات فعال زیستی برجسته می‌کنند که به استفاده پایدار از محصولات جانبی صنعت غذاهای دریایی کمک می‌کند.

جوش در 90°C به مدت ۱۰ دقیقه حرارت داده شد. پس از ایجاد رنگ صورتی، واکنش با خنک‌سازی از طریق آب متوقف شد. در ادامه، مخلوط در دمای 25°C به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. رنگ صورتی مایع رویی با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۳۲ nm خوانده شد و غلظت TBARS با رسم منحنی استاندارد tetramethoxypropane - ۱،۱،۳،۳ ppm (۶-۰) محاسبه شد. TBARS به صورت ml مالون‌آلدئید (MDA^1) / kg لیپید بیان شد.

۱۰.۲. تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل واریانس (ANOVA) بر اساس مدل خطی عمومی SPSS (نسخه ۱۶.۰، ۲۰۰۷) انجام شد. تفاوت معنی‌داری بین میانگین‌ها با استفاده از آزمون‌های چند دامنه‌ای دانکن با مقادیر $P < 0.05$ از نظر آماری معنی‌دار در نظر گرفته شد.

۳. نتایج و بحث

۱.۳. لیپید کل

استخراج با سوکسله به عنوان یک روش معمول استخراج منجر به بالاترین بازیابی روغن و کاروتنوئیدها می‌گردد. برخی از حلال‌های آلی که برای استفاده در صنایع غذایی مجاز هستند عبارتند از: استون، اتانول، اتیل‌استات، ایزوپروپیل‌الکل، هگزان و متیل‌اتیل‌کتون [۴]. مطابق جدول (۱) استخراج به کمک حلال استون-هگزان منجر به بازیابی مقدار بالایی از عصاره لیپیدی (۲/۸۱٪) از ضایعات میگوی ببری سبز گردید. طبق مطالعات صورت گرفته [۲۴]، نوع حلال و قطبیت آن

جدول (۱). میزان بازدهی، غلظت آستازانتین و شاخص‌های رنگی عصاره لیپیدی استخراج شده.

Table 1. Yield, astaxanthin concentration and color indices of shrimp lipid extract.

Value	Index
$2/81 \pm 0/00$	Lipid yield (%)
$10/34 \pm 0/00$	Astaxanthin concentration (mg/100 g oil)
	color
$23/21 \pm 0/05$	L^*
$18/13 \pm 0/04$	a^*
$19/74 \pm 0/08$	b^*

Data are presented as mean $\pm$ standard deviation (n = 3)



۲.۳. میزان غلظت آستازانتین

فرآیند استخراج تعیین می شود [۱۶]. در مورد اثر اکسیداسیون، عظیمی و همکاران [۳۵] با بررسی تغییرات رنگ روغن های خوراکی (زیتون، آفتابگردان، پالم و سویا) با استفاده از بررسی تصویر دیجیتال و تحلیل تشخیص خطی (LDA^1)، نشان دادند که تغییرات شاخص a^* و b^* در طول اکسیداسیون ثانویه به طور معنی داری با افزایش پراکسید و ترکیبات کربونیل مرتبط است. در مورد رنگدانه نیز، سوکاسیو و همکاران [۳۶] به بررسی ترکیبات فیتوشیمیایی (مانند پلی فنول ها، توکوفرول ها و اسکوالن) در هشت دسته از روغن های خوراکی (شامل روغن آفتابگردان، کدوتنبل، دانه کتان، شاهدانه، سویا، گردو، خولان دریایی و زیتون) پرداخته و از روش های کروماتوگرافی و طیف سنجی جرمی برای تحلیل ترکیبات شیمیایی استفاده کردند. همچنین، تأثیر این ترکیبات بر شاخص های رنگی L^* ، a^* و b^* و کیفیت کلی روغن ها را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که حضور رنگدانه هایی مانند کاروتنوئیدها و کلروفیل تأثیر مستقیمی بر شاخص های رنگی دارد به طوری که روغن هایی با مقادیر بالای کاروتنوئیدها، شاخص a^* بالاتری داشتند (رنگ قرمزتر) در صورتیکه روغن های حاوی کلروفیل شاخص b^* بالاتری داشتند (رنگ سبزتر). همچنین روغن هایی با مقادیر بالای این ترکیبات مقاومت بیشتری در برابر اکسیداسیون نشان دادند. به طور کلی یافته های رنگ سنجی نشان می دهد که عصاره لیپیدی استخراج شده از محصولات جانبی میگوی ببری سبز از محتوای رنگ و غلظت کارتنوئید مناسبی برخوردار می باشد که آن را برای کاربردهای غذایی و آرایشی بهداشتی مناسب می سازد.

۴.۳. بررسی اسیدهای چرب

جدول (۲) نشان می دهد که انواع اسیدهای چرب (FAs^2) در عصاره لیپیدی استخراج شده متعلق به اسیدهای چرب چندغیراشباع ($PUFA^3$)، اسیدهای چرب تک غیراشباع ($MUFA^4$) و اسیدهای چرب اشباع (SFA^5) هستند. طبق نتایج، عصاره لیپیدی استخراج شده حاوی مقادیر بالایی از

همانطور که در جدول (۱) نشان داده شده است، محتوای آستازانتین عصاره لیپیدی استخراج شده از محصولات جانبی میگوی ببری سبز در حدود $10/34 \text{ ml}/100\text{g}$ روغن بود که بسیار بالاتر از مطالعات سانتوس و همکاران [۲۷] و هو و همکاران [۲۸] بود که به ترتیب $3/2 \text{ ml}/100\text{g}$ روغن با استفاده از حلال اتانول/کولین کلراید برای ضایعات میگوی پاسبید غربی (*L. vannamei*) و $4/3 \text{ ml}/100\text{g}$ روغن با حلال اتانول برای ضایعات میگوی آب شیرین (*P. clarkia*) بود. همچنین، نتایج این تحقیق در تطابق با مطالعات قبلی که مقادیر بالای آستازانتین را در عصاره لیپیدی استخراج شده از ضایعات میگو با استفاده از حلال استون گزارش نمودند، می باشد [۲۹، ۲۴، ۳۰]. در میان حلال های مورد استفاده جهت استخراج آستازانتین مانند استون، اتانول، متانول، استونیتریل و هگزان، پیشنهاد شده استون به عنوان مناسب ترین حلال می باشد، زیرا ساختار آن حاوی گروه های کربونیل زیادی است که بسیار شبیه به آستازانتین هستند [۳۱]. همچنین به خوبی شناخته شده است که آستازانتین کاروتنوئید اصلی در میگو است و عمدتاً به عنوان استرهای آستازانتین در اسیدهای چرب مختلف وجود دارد؛ بنابراین، مخلوط حلال های قطبی/غیرقطبی ممکن است قطبیتی مشابه با استرهای آستازانتین داشته باشد، و آن را به حلال مناسبی برای استخراج آستازانتین از سخت پوستان (عمدتاً میگو و خرچنگ) تبدیل کند [۲۵].

۳.۳. رنگ عصاره لیپیدی استخراج شده

نتایج رنگ سنجی در جدول (۱) نشان داده شده است. پرکاربردترین معیارهای سنجش رنگ شامل روشنایی (L^*)، قرمزی (a^*) و زردی (b^*) است. مقدار a^* به طور کلی بهترین همبستگی را با سطوح کاروتنوئید نشان می دهد [۳۲]. در مطالعه حاضر، مقدار بالای a^* ($18/13$) عصاره لیپیدی استخراج شده با حلال استون-هگزان احتمالاً به دلیل محتوای بالای رنگدانه آستازانتین است. چندین مطالعه دیگر نیز همبستگی بین شاخص قرمزی (مقدار a^*) مواد غذایی و غلظت کاروتنوئید کل را گزارش کرده اند [۱۶، ۳۳، ۳۴]. در واقع رنگ توسط محتوای رنگدانه، ناخالصی ها، اکسیداسیون و

1. Linear discriminant analysis
2. Fatty acid synthase
3. Polyunsaturated fatty acids
4. Monounsaturated fatty acids
5. Saturated fatty acid

مقایسه با هگزان حلال مناسب‌تری برای استخراج عصاره لیپیدی غنی از اسیدهای چرب چندغیراشباع (۴۲/۷۸ - ۳۶/۱۰٪ از کل اسیدهای چرب برای میگوی پاسفید غربی (*L. vannamei*) و ۲۵/۵۸ - ۲۳/۵۷٪ برای میگوی آب شیرین (*P. clarkia*)) است. محتوای بالاتر PUFA (۴۲/۷۸ و ۳۷/۵٪) از کل اسیدهای چرب برای ضایعات میگوی پاسفید غربی (*L. vannamei*) و میگوی آب شیرین (*P. clarkia*) که به ترتیب با هگزان - ایزوپروپیل‌الکل و اتانول استخراج شده بود، نیز گزارش شده است [۲۲]. بطور کلی این یافته‌ها به‌عنوان یک نتیجه امیدوارکننده در نظر گرفته می‌شود زیرا PUFAها به‌دلیل نقش‌های محافظتی از انسان در برابر بیماری‌های قلبی عروقی و سرطان مورد توجه قرار گرفته‌اند.

PUFA (۳۳/۰۵٪)، به‌ویژه ω -3 PUFA (۱۳/۰۳٪) شامل آلفالینولنیک اسید (ALA) (۲/۷۳٪) و ایکوزاپنتانوئیک اسید (EPA) (۲/۲۹٪) بود. ترکیب اسیدهای چرب بسته به حلال استخراج کننده، گونه، اندازه، سن، رژیم غذایی، جنسیت، فصل و موقعیت جغرافیایی میگو می‌تواند متفاوت باشد [۳۷]. علاوه بر این، قطبیت حلال‌ها با بازده اسیدهای چرب رابطه مستقیم دارد، به این معنی که استفاده از حلال‌های قطبی‌تر می‌تواند به‌طور مؤثرتری کیفیت عصاره لیپیدی را به حداکثر برساند. [۳۹]. مثلاً، مخلوط حلال‌های اتانول و استون استخراج ترکیبات لیپیدی با ارزش را افزایش می‌دهند و نسبت‌های بالاتری از فسفولیپیدها و توکوفرول‌ها را تولید می‌کند [۳۹]. در این زمینه، وانگ و همکاران [۲۵] گزارش کردند اتانول در

جدول (۲). میزان اسیدهای چرب عصاره لیپیدی استخراج شده میگو.

Table 2. Fatty acids content of shrimp lipid extract.

Content (%)	Fatty Acid
۱/۴۴ ± ۰/۱۸ ^{dc}	Myristic acid (C14)
۱/۱۹ ± ۰/۰۱ ^e	Pentadecanoic acid (C15)
۱/۸۸ ± ۰/۵۷ ^d	Palmitic acid (C16)
۱۵/۹۰ ± ۰/۲۱ ^a	Heptadecanoic acid (C17)
۲/۴۰ ± ۰/۰۱ ^c	Stearic acid (C18)
۸/۴۲ ± ۰/۰۲ ^b	Arachidic acid (C20)
۸/۴۶ ± ۰/۰۶ ^b	Heneicosanoic acid (C21)
۵/۰۷ ± ۰/۰۰ ^c	Behenic acid (C22)
۲/۴۲ ± ۰/۰۰ ^c	Tricosanoic acid (C23)
۱/۷۶ ± ۰/۱۰ ^d	Lignoceric acid (C24)
۴۸/۹۴	ΣSFA
۵/۴۹ ± ۰/۳۲ ^b	Elaidic acid (C18:1n9t)
۱/۵۳ ± ۰/۰۹ ^c	Oleic acid (C18:1n9c)
۱/۰۱ ± ۰/۱۰ ^d	cis-11-Eicosenoic acid (C20:1)
۱/۷۴ ± ۰/۱۰ ^c	Erucic acid (C22:1n9)
۸/۲۳ ± ۰/۰۶ ^a	Nervonic acid (C24:1)
۱۸/۰۰	ΣMUFA
۱۱/۴۲ ± ۰/۱۲ ^a	Linoleic acid (C18:2n6c)
۱/۰۳ ± ۰/۰۵ ^c	γ-Linolenic acid (C18:3n5)
۲/۷۳ ± ۰/۰۷ ^d	α-Linolenic acid (C18:3n3)
۲/۴۸ ± ۰/۰۵ ^d	cis-7,11,14-Eicosatrienoic acid (C20:3n6)
۶/۹۸ ± ۰/۰۷ ^b	cis-11,14,17-Eicosatrienoic acid (C20:3n3)
۳/۳۶ ± ۰/۰۶ ^c	Arachidonic acid (C20:4n6)
۱/۷۳ ± ۰/۰۵ ^c	Cis-13,16-docosadienoic acid (C22:2)

Content (%)	Fatty Acid
$2/29 \pm 0/07^d$	(EPA)(C20:5n3) Eicosapentaenoic acid
$1/03 \pm 0/01^e$	(C22:6n3) (DHA) Docosahexaenoic acid
33/05	Σ PUFA
13/03	$\Sigma\omega$ -3 PUFA
20/02	$\Sigma\omega$ -6 PUFA

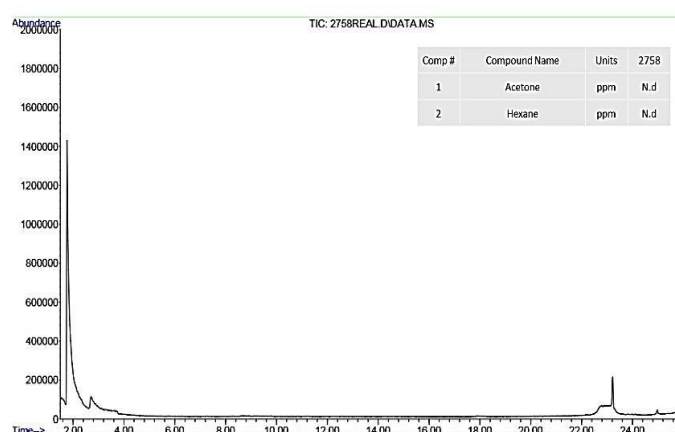
Data are presented as mean $\pm$ standard deviation (n = 3). Different letters in the Same row indicate statistically significant differences at the (p < 0.05) level

۵.۳. بررسی میزان باقی‌مانده حلال در لیپید

بر اساس فارماکوپه ایالات متحده (^۱USP)، حلال‌های باقی‌مانده (^۲RS) به حلال‌های آلی گفته می‌شود که در ساخت مواد دارویی، مواد غذایی و محصولات گیاهی استفاده یا تولید می‌شوند و به‌طور کامل توسط فرآیندهای تولید حذف نمی‌شوند [۴۰]. نکته مهم این است که ممکن است مقداری RS هم در مواد تشکیل دهنده و هم در محصولات نهایی باقی بماند. روش‌های تولید خوب نیازمند آزمایش مواد تشکیل‌دهنده عصاره‌های گیاهی یا جانوری مورد استفاده در تولید محصولات نهایی برای تشخیص آلودگی هستند [۴۱]. از آنجایی که RS احتمالاً خطرات سلامتی دارد و سمیت نشان می‌دهد، کمیت آن‌ها برای اطمینان از اینکه سطح آن‌ها کمتر از حد قابل قبولی است که در شورای بین‌المللی هماهنگی الزامات فنی داروها برای استفاده انسان (ICH) تعیین شده است، مهم است [۴۲]. مطابق شکل (۱)، تجزیه و تحلیل عصاره لیپیدی استخراج شده از محصولات جانبی

میگو نشان می‌دهد که عصاره لیپیدی با کیفیت بالا و بدون حلال باقی‌مانده است. باقی‌ماندن حلال در عصاره‌های جانوری یا گیاهی ممکن است به دلایل زیر رخ دهد:

۱. ناکافی بودن فرآیند تبخیر: اگر حلال به‌طور کامل تبخیر نشود، ممکن است مقداری از آن در عصاره باقی بماند [۴۳].
۲. استفاده از حلال‌های با نقطه جوش بالا: حلال‌هایی مانند آب یا برخی از حلال‌های آلی ممکن است به‌طور کامل تبخیر نشوند [۴۴].
۳. عدم استفاده از روش‌های تغلیظ مناسب: عدم استفاده از روش‌های مناسب برای تغلیظ عصاره، مانند خشک‌انجمادی یا تبخیر در خلأ، می‌تواند منجر به باقی‌ماندن حلال شود [۴۵]. به‌طور کلی روش استخراج به‌کار گرفته شده در این پژوهش و گونه انتخاب شده میگو، بازده و خلوص بالا را تضمین می‌کند که در عین حال خواص مفید لیپید را حفظ می‌کند.



شکل (۱). میزان باقی‌مانده حلال استون/هگزان در عصاره لیپیدی استخراج شده میگو.

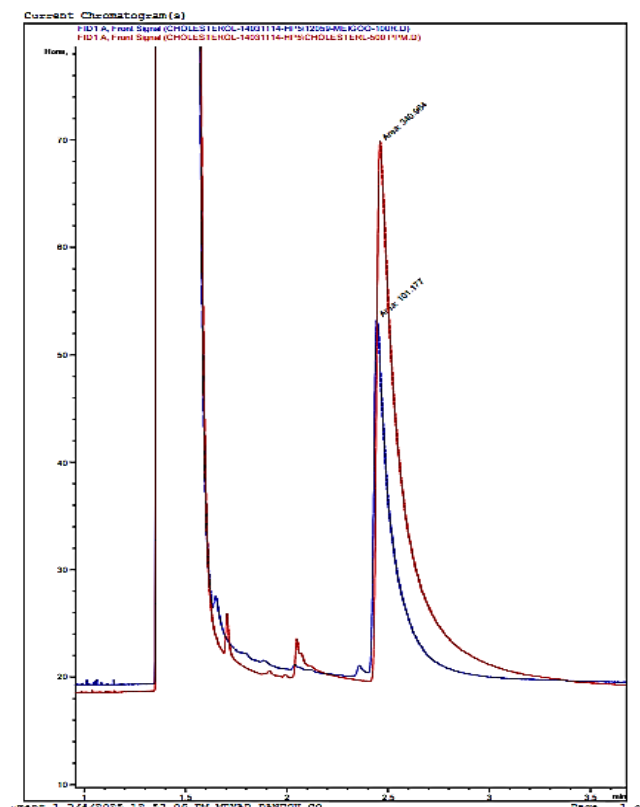
Fig 1. Residual amount of acetone/hexane solvent in shrimp lipid extract.

1. United States Pharmacopeia
2. Residual solvents

۶.۳. بررسی میزان استرول

میگوی پاسبید غربی (*L. vannamei*) حاوی ۶۵ ml/100g روغن، کلسترول می‌باشد. در حالیکه پیرس و همکاران [۴۷] سطح بالاتری از کلسترول (۴۰۱ ml/100g روغن) را در عصاره لیپیدی میگوی سفید (*Litopenaeus schimitti*) گزارش کردند. مشابه با این پژوهش، مورا و تنوتا فیلهو [۴۸] کلسترول را در عصاره میگوی صورتی (*Penaeus brasiliensis*)، ۵۵۰ ml/100g روغن گزارش نمودند. میگوها سطح کلسترول بالایی دارند، اما برخلاف گوشت قرمز حاوی سطوح پایینی از چربی‌های اشباع شده هستند [۴۷]. تحقیقات نشان دادند که مصرف میگو تأثیر منفی قابل توجهی بر سطح کلسترول خون ندارد؛ این به دلیل وجود ویتامین B12، سلنیوم، اسیدهای چرب غیراشباع امگا-۳ و آستازانتین در میگو است که می‌توانند به بهبود سلامت قلب و عروق کمک کنند [۴۹]. در این راستا، یک مطالعه بالینی نشان داد که مصرف متوسط میگو در افراد دارای سطح کلسترول نرمال، تأثیر منفی بر پروفایل کلی لیپوپروتئین نخواهد داشت و می‌تواند در دستورالعمل‌های تغذیه‌ای «سلامت قلب» گنجانده شود [۵۰].

در روغن‌های خوراکی، استرول‌ها عمدتاً به صورت آزاد و استری هستند که ممکن است اثرات فیزیولوژیکی متفاوتی داشته باشند. همچنین، خواص فیزیکی استرول‌های آزاد و استری نیز متفاوت است؛ به عنوان مثال، استرول‌های استری به راحتی در مخلوط روغن و آب محلول هستند [۳۶]. در مطالعه حاضر، محتوای استرول با استفاده از کروماتوگرافی گازی با آشکارساز یونش شعله‌ای (GC-FID) مطابق استاندارد ملی ایران (شماره ۹۶۷۰) تعیین شد. نتایج نشان داد که عصاره لیپیدی استخراج شده از محصولات جانبی میگو حاوی سطح بالایی از کلسترول (۵۷۰ ml/100g روغن) است (شکل ۲). به عنوان یک استرول غالب در چربی‌های جانوری، کلسترول حدود ۹۰٪ از کل استرول موجود در میگو را تشکیل می‌دهد [۲۳]. میزان کلسترول در لیپید میگو بسته به گونه، تغذیه، سن، جنس، دمای آب، موقعیت جغرافیایی، فصل و روش استخراج متفاوت است [۴۶]. گومزاستاکا و همکاران [۸] گزارش نمودند عصاره لیپیدی استخراج شده از ضایعات



شکل (۲). میزان استرول و کلسترول عصاره لیپیدی استخراج شده.

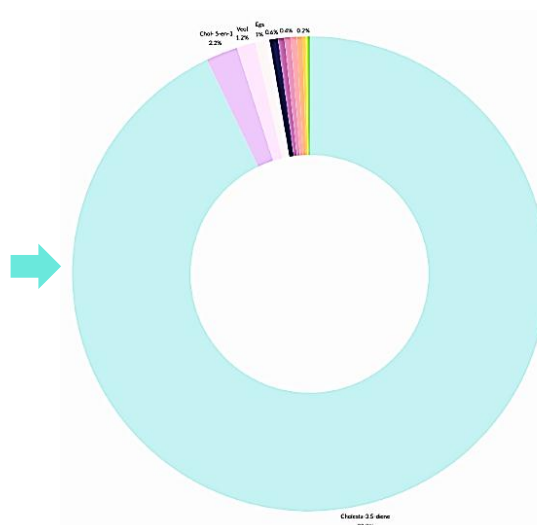
Fig 2. Sterol and cholesterol levels of shrimp lipid extract.

۷.۳. بررسی ترکیب لیپید

بالقوه آن در فرآیندهای ترمیم بافت است [۵۲]. (۲) هموستاز کلسترول: به عنوان یک اکسی سترول^۱، Cholesta-3,5-diene در تنظیم سطح کلسترول در بدن نقش دارد. اکسی سترول ها عموماً به عنوان مولکول های سیگنالی برای حفظ تعادل کلسترول عمل می کنند [۵۳]. (۳) پتانسیل نشانگر زیستی: Cholesta-3,5-diene می تواند از پیرولیز بافت های خاص آزاد شود و به طور بالقوه به عنوان یک نشانگر مولکولی در زمینه های خاص عمل کند [۵۴]. (۴) خواص شیمیایی: در تولید اسیدهای چرب استفاده می شود و به عنوان مایع بی رنگ متعلق به کلاس متیل کتون ها طبقه بندی می شود، اگرچه این طبقه بندی ممکن است اشتباه باشد زیرا در درجه اول به عنوان اکسی سترول شناخته می شود [۵۵]. بنابراین نتایج بررسی پروفایل عصاره لیپیدی مورد تحقیق نشان می دهد که اگرچه ترکیب عمده تشکیل دهنده این لیپید یک جزء تغذیه ای مستقیم نیست، اما نقش آن در مسیرهای بیوشیمیایی و کاربردهای بالقوه در ترمیم زخم اهمیت آن را در تحقیقات مرتبط با سلامت برجسته می کند.

هر لیپید دارای یک ترکیب منحصربه فرد از اسیدهای چرب، استرول ها، توکوفرول ها و سایر ترکیبات لیپیدی است که ویژگی های فیزیوشیمیایی و عملکردی آن را تعیین می کند؛ لذا، درک دقیق ترکیب یک روغن از طریق سنجش پروفایل لیپیدی می تواند به شناسایی ویژگی های تغذیه ای، پایداری اکسایشی و کاربردهای بالقوه آن در صنایع مختلف کمک کند [۵۱]. به طور کلی ۱۳ ترکیب مختلف بوسیله GC-MS در عصاره لیپیدی استخراج شده از محصولات جانبی میگوی ببری سبز شناسایی شد. در این میان Cholesta-3,5-diene ترکیب اصلی (۹۲٪) موجود در نمونه استخراج شده بود (شکل ۳) که یک ترکیب استروئیدی با چندین ویژگی بیولوژیکی مربوط به بیوشیمی و تحقیقات علوم زیستی است [۵۲]. این ترکیب نقش های مختلفی در؛ (۱) بهبود زخم: نشان داده شده است که Cholesta-3,5-diene، همراه با سایر لیپیدها، با تسهیل مهاجرت فیبروبلاست و جذب نوتروفیل به محل زخم، موجب بهبود زخم می شوند که نشان دهنده نقش

No	Area%	Name
1	0.40	Nonane
2	0.42	trans, trans-1,6-Dimethylspiro [4.5] decane
3	0.38	5,7-Dodecadiene, (Z, Z)-
4	0.09	Undecane
5	0.08	Methyl-3-indazolone2
6	0.10	Decane
7	1.24	Verticicol
8	0.21	cis, cis, cis-7,10,13-Hexadecatrienal
9	2.16	Cholest-5-en-3-ol (3β)-, carbonochloridate
10	0.97	5α-Ergost-14-ene
11	0.44	(-)-Sinularene
12	0.57	Andrographolide
13	92.01	Cholesta-3,5-diene



شکل (۳). ترکیبات لیپید حاصل از محصولات جانبی میگوی ببری سبز. رنگ آبی: لیپید استخراج شده، رنگ قرمز: استاندارد کلسترول

Fig 3. Lipid compositions of green tiger shrimp by-products. Blue: extracted lipid, red: cholesterol standard

TBARS به ترتیب ۲/۲۱ ml/kg و ۲/۲۱ هیدروپروکسید کومن/ لیپید و ۰/۳۱ ml/kg مالون آلدئید (MDA) بر لیپید تعیین شد که نشان دهنده کیفیت خوب عصاره لیپیدی حاصل از محصولات

۸.۳. بررسی شاخص های کیفیت عصاره لیپیدی میگو

در مرحله نهایی تحقیق حاضر، شاخص های اکسیداسیون روغن شامل اکسیداسیون اولیه (PV) و ثانویه (TBARS) مورد بررسی قرار گرفت. مطابق جدول (۳)، مقادیر اولیه PV و

1. Oxysterol

۴-هیدروکسی-۲-نونال (HNE^۲)، هیدروکربن‌ها، آلدئیدها و کتون‌ها (افزایش مقادیر TBARS) می‌شوند [۵۹]. پیشرفت اکسیداسیون لیپید به وضوح با کاهش کیفیت محصول، مانند ترشیدگی، بی‌طعمی، تشکیل ترکیبات سمی، کاهش ارزش غذایی و کاهش پذیرش مصرف‌کننده مرتبط است. به‌طور کلی، بررسی دقیق چگونگی تأثیر رادیکال‌های هیدروکسیل بر تجزیه چربی‌ها و محصولات جانبی حاصل از این واکنش، به‌دلیل وجود هزاران نوع لیپید مختلف و واکنش متفاوت هر کدام با رادیکال‌ها کار دشواری است [۵۹]. بنابراین فهم ارتباط بین تأثیر اکسیداسیون چربی‌ها روی ترکیبات چربی در ضایعات میگو، می‌تواند در توضیح تغییر ویژگی‌های چربی (مثل طعم، ماندگاری یا کیفیت) محصولات جانبی میگو کمک نماید.

جانبی میگوی ببری سبز است. نتایج به‌دست آمده در تطابق با مقادیر PV (۱/۵۰ ml/kg) اکسیژن فعال/ لیپید و TBARS (۰/۳۰ mg/kg/MDA بر لیپید) گزارش شده توسط بالتی و همکاران [۶۰] برای عصاره لیپیدی میگوی پاسفید غربی (*P. vannamei*) است. گزارش شده است زنجیره‌های اسیدهای چرب چندغیراشباع (PUFAs) بسیار واکنش‌پذیر هستند و در ابتدا توسط رادیکال‌های هیدروکسیل تشکیل شده از طریق مکانیسم انتزاع تک‌الکترون^۱ مورد حمله قرار می‌گیرند [۵۷]. این منجر به تولید هیدروپراکسیدهای متعدد که نشان‌دهنده اکسیداسیون اولیه (افزایش PV) می‌باشد، می‌گردد. هیدروپراکسیدهای حاصل ناپایدار هستند و باعث واکنش‌های بیشتر برای تولید گونه‌های اکسیداسیون ثانویه از جمله MDA،

جدول (۳). شاخص‌های کیفیت عصاره لیپیدی استخراج شده میگو.

Table 3. Lipid quality indices of shrimp lipid extract.

TBA Index (mg malondialdehyde (MDA)/kg lipid)	PV Index (mg cumene hydroperoxide/kg lipid)	Name
۰/۳۱ ± ۰/۱۶	۲/۲۱ ± ۰/۴۷	Lipid from shrimp by-products

Data are presented as mean ± standard deviation (n = 3)

داشتند که نشان می‌دهد با رعایت شرایط نگهداری مناسب، عصاره لیپیدی می‌تواند در کاربردهای مختلف مورد استفاده قرار گیرد. در مجموع، مطالعه حاضر پتانسیل محصولات جانبی میگوی ببری سبز را به‌عنوان منبعی ارزشمند جهت استخراج آستازانتین و اسیدهای چرب امگا-۳ با کیفیت بالا جهت کاربردهای غذا دارویی برجسته می‌نماید.

تشکر و قدردانی

این پروژه با حمایت مالی مرکز مطالعات و همکاری‌های علمی بین‌المللی وزارت علوم تحقیقات و فناوری برگرفته شده از طرح «۴۰۲۰۵۶۱» و معاونت پژوهش دانشگاه تربیت مدرس انجام پذیرفته است.

۴. نتیجه‌گیری

بهره‌برداری از محصولات جانبی میگو که اغلب دور ریخته می‌شوند، می‌تواند با ایجاد ارزش افزوده به توسعه پایدار صنایع عمل‌آوری آبزیان کمک نماید. نتایج آزمون‌های سنجش میزان آستازانتین و اسیدهای چرب نشان داد که عصاره لیپیدی استخراج شده از محصولات جانبی میگو سرشار از رنگدانه کارتنوئیدی آستازانتین به‌عنوان یک سوپر آنتی‌اکسیدان و اسیدهای چرب ضروری، به‌ویژه اسیدهای چرب چندغیراشباع (PUFAs) می‌باشد که دارای فواید قلبی-عروقی و خواص ضدالتهابی هستند. تحلیل استرول‌ها نیز نشان‌دهنده وجود مقدار قابل‌توجهی کلسترول بود که با ترکیب‌های لیپیدی سخت‌پوستان همخوانی دارد. همچنین بررسی ترکیب لیپیدی مؤید حضور ۱۳ ماده مختلف و Cholesta-3,5-diene به‌عنوان ترکیب اصلی (۹۲٪) موجود در نمونه استخراج شده بود. شاخص‌های کیفیت عصاره لیپیدی (PV و TBARS) نیز در محدوده قابل‌قبولی قرار

2. Hydroxynonenal

1. Single-electron abstraction

منابع

- [1] Shiekh, K. A., Benjakul, S., & Gulzar, S. (2021). Impact of pulsed electric field and vacuum impregnation with Chamuang leaf extract on quality changes in Pacific white shrimp packaged under modified atmosphere. *LWT*, 149, 111899. DOI: [10.1016/j.lwt.2021.111899](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111899)
- [2] Mittal, A., Singh, A., Aluko, R. E., & Benjakul, S. (2021). Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) shell chitosan and the conjugate with epigallocatechin gallate: Antioxidative and antimicrobial activities. *J. Food Biochem*, 45(1), e13569. 226. DOI: [10.1111/jfbc.13569](https://doi.org/10.1111/jfbc.13569)
- [3] Cabanillas-Bojórquez, L. A., Gutiérrez-Grijalva, E. P., Castillo-López, R. I., Contreras-Angulo, L. A., Angulo-Escalante, M. A., López-Martínez, L. X., Ríos-Irbe, E. Y., & Heredia, J. B. (2021). Bioprocessing of shrimp waste using novel industrial by-products: Effects on nutrients and lipophilic antioxidants. *Ferment*, 7(4), 312. DOI: [10.3390/fermentation7040312](https://doi.org/10.3390/fermentation7040312)
- [4] Gulzar, S., Raju, N., Nagarajao, R. C., & Benjakul, S. (2020). Oil and pigments from shrimp processing by-products: Extraction, composition, bioactivities and its application-A review. *Trends Food Sci Technol*, 100, 307-319. DOI: [10.1016/j.tifs.2020.04.005](https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.04.005)
- [5] Subramanian, B., Thibault, M. H., Djaoed, Y., Pelletier, C., Touaibia, M., & Tchoukanova, N. (2015). Chromatographic, NMR and vibrational spectroscopic investigations of astaxanthin esters: application to "Astaxanthin-rich shrimp oil" obtained from processing of Nordic shrimps. *Analyst*, 140(21), 7423-7433. DOI: [10.1039/c5an01261a](https://doi.org/10.1039/c5an01261a)
- [6] Miniadis-Meimaroglou, S., & Sinanoglou, V.J. (2013). Lipid profile and nutritional evaluation of shrimps. *AFSci*, 661(2), 21-40.
- [7] Raju, N., Gulzar, S., Buamard, N., Ma, L., Ying, X., Zhang, B., & Benjakul, S. (2021). Comparative study of astaxanthin, cholesterol, fatty acid profiles, and quality indices between shrimp oil extracted from hepatopancreas and cephalothorax. *Front. Nutr*, 8, 803664. DOI: [10.3389/fnut.2021.803664](https://doi.org/10.3389/fnut.2021.803664)
- [8] Gómez-Estaca, J., Calvo, M. M., Álvarez-Acero, I., Montero, P., & Gómez-Guillén, M. C. (2017). Characterization and storage stability of astaxanthin esters, fatty acid profile and α -tocopherol of lipid extract from shrimp (*L. vannamei*) waste with potential applications as food ingredient. *Food Chem*, 216, 37-44. DOI: [10.1016/j.foodchem.2016.08.016](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.016)
- [9] Wu, H., Niu, H., Shao, A., Wu, C., Dixon, B. J., Zhang, J., ... & Wang, Y. (2015). Astaxanthin as a potential neuroprotective agent for neurological diseases. *Mar. Drugs*, 13(9), 5750-5766. DOI: [10.3390/md13095750](https://doi.org/10.3390/md13095750)
- [10] Björkegren, J. L., & Lusis, A. J. (2022). Atherosclerosis: recent developments. *Cell*, 185(10), 1630-1645. DOI: [10.1016/j.cell.2022.04.004](https://doi.org/10.1016/j.cell.2022.04.004)
- [11] Raju, N., Sae-leaw, T., Osako, K., & Benjakul, S. (2022). Improved cholesterol depletion with enhanced astaxanthin and polyunsaturated fatty acids of lipid from Pacific white shrimp cephalothorax using prior ethanolic separation of polar lipid and β -Cyclodextrin. *JFST*, 59(6), 2255-2262. DOI: [10.1007/s13197-021-05238-7](https://doi.org/10.1007/s13197-021-05238-7)
- [12] Aref, M., Movahedi, A., Heidari-Beni, M., & Kelishadi, R. (2023). Effects of shrimp oil on cardio-metabolic risk factors in children and adolescents. *IJVR*, 93 (6), 490-497. DOI: [10.1024/0300-9831/a000755](https://doi.org/10.1024/0300-9831/a000755)
- [13] Ei, Z. Z., Benjakul, S., Buamard, N., Visuttijai, K., & Chanvorachote, P. (2022). Shrimp lipid prevents endoplasmic reticulum-mediated endothelial cell damage. *Foods*, 11(19), 3076. DOI: [10.3390/foods11193076](https://doi.org/10.3390/foods11193076)
- [14] Sharayei, P., Azarpazhooh, E., Zomorodi, S., Einafshar, S., & Ramaswamy, H. S. (2021). Optimization of ultrasonic-assisted extraction of astaxanthin from green tiger (*Penaeus semisulcatus*) shrimp shell. *Ultrason. Sonochem*, 76, 105666. DOI: [10.1016/j.ultsonch.2021.105666](https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105666)
- [15] Rodrigues, L. A., Pereira, C. V., Leonardo, I. C., Fernández, N., Gaspar, F. B., Silva, J. M., ... & Matias, A. A. (2020). Terpene-based natural deep eutectic systems as efficient solvents to recover astaxanthin from brown crab shell residues. *ACS Sustain. Chem. Eng*, 8(5), 2246-2259. DOI: [10.1021/acssuschemeng.9b06283](https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b06283)
- [16] Roy, V. C., Getachew, A. T., Cho, Y. J., Park, J. S., & Chun, B. S. (2020). Recovery and bio-potentialities of astaxanthin-rich oil from shrimp (*Penaeus monodon*) waste and mackerel (*Scomberomous niphonius*) skin using concurrent supercritical CO2 extraction. *J. Supercrit. Fluids*, 159, 104773. DOI: [10.1016/j.supflu.2020.104773](https://doi.org/10.1016/j.supflu.2020.104773)
- [17] Haque, F., Dutta, A., Thimmanagari, M., & Chiang, Y. W. (2016). Intensified green production of astaxanthin from *Haematococcus pluvialis*. *Food Bioprod. Process*, 99, 1-11. DOI: [10.1016/j.fbp.2016.03.002](https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.03.002)
- [18] Haq, M., Ahmed, R., Cho, Y. J., & Chun, B. S. (2017). Quality properties and bio-potentiality of edible oils from Atlantic salmon by-products



- extracted by supercritical carbon dioxide and conventional methods. *Waste Biomass Valori*, 8, 1953-1967. DOI: [10.1007/s12649-016-9710-2](https://doi.org/10.1007/s12649-016-9710-2)
- [19] Metcalfe, L. D., Schmitz, A. A., & Pelka, J. R. (1966). Rapid preparation of fatty acid esters from lipids for gas chromatographic analysis. *Anal. Chem*, 38(3), 514-515. DOI: [10.1007/BF02641197](https://doi.org/10.1007/BF02641197)
- [20] Pérez Pavón, J. L., del Nogal Sanchez, M., García Pinto, C., Fernández Laespada, M. E., & Cordero, B. M. (2006). Use of mass spectrometry methods as a strategy for detection and determination of residual solvents in pharmaceutical products. *Anal. Chem.*, 78(14), 4901-4908. DOI: [10.1021/ac060426h](https://doi.org/10.1021/ac060426h)
- [21] INSO (2007). Animal and Vegetable Fats and Oils-Determination of Individual and Total Sterol Contents by Gas Chromatography, No 9670. Iran National Stand Organization, 1-22.
- [22] Gulzar, S., & Benjakul, S. (2020). Impact of pretreatment and atmosphere on quality of lipids extracted from cephalothorax of Pacific white shrimp by ultrasonic assisted process. *Food Chem*, 309, 125732. DOI: [10.1016/j.foodchem.2019.125732](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125732)
- [23] Raju, N., & Benjakul, S. (2020). Use of beta cyclodextrin to remove cholesterol and increase astaxanthin content in shrimp oil. *Eur. J. Lipid Sci. Technol*, 122(2), 1900242. DOI: [10.1002/ejlt.201900242](https://doi.org/10.1002/ejlt.201900242)
- [24] Ahmadkelayeh, S., & Hawboldt, K. (2020). Extraction of lipids and astaxanthin from crustacean by-products: A review on supercritical CO₂ extraction. *Trends Food Sci Technol*, 103, 94-108. DOI: [10.1016/j.tifs.2020.07.016](https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.07.016)
- [25] Wang, J. L., Yu, Z. L., Yin, F. W., Li, D. Y., Liu, H. L., Song, L., & Zhou, D. Y. (2021). Comparison of different solvents for extraction of oils from by-products of shrimps *Penaeus vannamei* and *Procambarus clarkia*. *JFPP*, 45(9), e15754. DOI: [10.1111/jfpp.15754](https://doi.org/10.1111/jfpp.15754)
- [26] Gulzar, S., & Benjakul, S. (2018). Ultrasound waves increase the yield and carotenoid content of lipid extracted from cephalothorax of pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Eur. J. Lipid Sci. Technol*, 120(5), 1700495. DOI: [10.1002/ejlt.201700495](https://doi.org/10.1002/ejlt.201700495)
- [27] Santos, C. A. D., Padilha, C. E., Damasceno, K. S., Leite, P. I., Araújo, A. C. D., Freitas, P. R., ... & Assis, C. F. D. (2021). Astaxanthin recovery from shrimp residue by solvent ethanol extraction using choline chloride: Glycerol deep eutectic solvent as adjuvant. *J. Braz. Chem. Soc*, 32(5), 1030-1039. DOI: [10.21577/0103-5053.20210005](https://doi.org/10.21577/0103-5053.20210005)
- [28] Hu, J., Lu, W., Lv, M., Wang, Y., Ding, R., & Wang, L. (2019). Extraction and purification of astaxanthin from shrimp shells and the effects of different treatments on its content. *Rev. Bras. Farmacogn*, 29, 24-29. DOI: [10.1016/j.bjp.2018.11.004](https://doi.org/10.1016/j.bjp.2018.11.004)
- [29] Gimeno, M., Ramírez-Hernández, J. Y., Martínez-Ibarra, C., Pacheco, N., García-Arrazola, R., Bárzana, E., & Shirai, K. (2007). One-solvent extraction of astaxanthin from lactic acid fermented shrimp wastes. *J. Agric. Food Chem*, 55(25), 10345-10350. DOI: [10.1021/jf071469h](https://doi.org/10.1021/jf071469h)
- [30] Ruen-ngam, D., Shotipruk, A., & Pavasant, P. (2011). Comparison of extraction methods for recovery of astaxanthin from *Haematococcus pluvialis*. *Sep. Sci. Technol*, 46(1), 64-70. DOI: [10.1080/01496395.2010.493546](https://doi.org/10.1080/01496395.2010.493546)
- [31] Huang, J., & Hui, B. (2020). Feed-induced Variation in the Carotenoid Composition of Brine Shrimp. *eFood*, 1(3), 247-253. DOI: [10.2991/efood.k.200522.001](https://doi.org/10.2991/efood.k.200522.001)
- [32] Liu, X., McClements, D. J., Cao, Y., & Xiao, H. (2016). Chemical and physical stability of astaxanthin-enriched emulsion-based delivery systems. *Food Biophys*, 11(3), 302-310. DOI: [10.1007/s11483-016-9443-6](https://doi.org/10.1007/s11483-016-9443-6)
- [33] Bengtsson, A., Alminger, M. L., & Svanberg, U. (2009). *In vitro* bioaccessibility of β -carotene from heat-processed orange-fleshed sweet potato. *J. Agri. Food Chem*, 57(20), 9693-9898. DOI: [10.1021/jf901692r](https://doi.org/10.1021/jf901692r)
- [34] Silva, H. D., Cerqueira, M. A., Souza, B. W. S., Ribeiro, C., Avides, M. C., Quintas, M. A. C., Coimbra, J. S. R., Carneiro-Da-Cunha, M. G., & Vicente, A. A. (2011). Nanoemulsions of β -carotene using a high-energy emulsification-evaporation technique. *J. Food Eng*, 102(2), 130-135. DOI: [10.1016/j.jfoodeng.2010.08.005](https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.08.005)
- [35] Azimi, O., Mohebbi, M., Farhoosh, R., & Saadatmand-Tarzan, M. (2020). Discerning expiration status of edible vegetable oils based on color changes during oxidation process: Using digital image and linear discriminant analysis in both primary and secondary oxidations. *IFSTRJ*, 15(6), 145-158. DOI: [10.22067/ifstrj.v1396i0.70907](https://doi.org/10.22067/ifstrj.v1396i0.70907)
- [36] Socaciu, C., Dulf, F., Socaci, S., Ranga, F., Bunea, A., Fetea, F., & Pintea, A. (2022). Phytochemical profile of eight categories of functional edible oils: A metabolomic approach based on chromatography coupled with mass spectrometry. *Appl. Sci*, 12(4), 1933. DOI: [10.3390/app12041933](https://doi.org/10.3390/app12041933)



- [37] Hossein, O., Abolghasem Esmaeili, F., Majid, S., & Shima Masoudi, A. (2011). Comparison of fatty acid composition between farmed and wild Indian white shrimps, *Penaeus indicus*. *FNS*, 2, 824-829. DOI: [10.4236/fns.2011.28113](https://doi.org/10.4236/fns.2011.28113)
- [38] Semenoglou, I., Katsouli, M., Giannakourou, M., & Taoukis, P. (2024). Recovery of omega-3-rich lipids: toward the sustainable valorization of sea-bass industry side streams. *Separations*, 11(4), 101. DOI: [10.3390/separations11040101](https://doi.org/10.3390/separations11040101)
- [39] Aubourg, S. P., Rodríguez, A., Trigo, M., & Medina, I. (2023). Yield enhancement of valuable lipid compounds from squid (*doryteuthis gahi*) waste by ethanol/acetone extraction. *Foods*, 12(14). DOI: [10.3390/foods12142649](https://doi.org/10.3390/foods12142649)
- [40] Al-Taher, F., & Nemzer, B. (2018). Determination and quantitation of residual solvents in natural food ingredients using a static headspace gas chromatography with flame ionization detection and mass spectrometric detection method. *J. Food Prot*, 81(10), 1573-1581. DOI: [10.4315/0362-028X.JFP-18-142](https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-18-142)
- [41] U.S. Food and Drug Administration. (2012). Current good manufacturing practice in manufacturing, packing, or holding human food, In: *FDA*, Washington, DC. <https://www.ecfr.gov/current/title-21/part-110>
- [42] Pharmacopeia, U. S. (2009). Particulate matter in injections. USP/NF General Chapter. In: *USP* 788. Rockville.
- [43] Wypych, G. (2001). *Handbook of solvents (1th ed.)*. Toronto: ChemTec Publishing.
- [44] Starciuc, T., Correia, N. T., Guinet, Y., Paccou, L., & Hédoux, A. (2018). *Freeze drying of pharmaceuticals and biologicals (2th ed.)*. Garmisch-Partenkirchen: In *Freeze Drying of Pharmaceuticals and Biologicals*.
- [45] Bhatnagar, B. S., Tchessalov, S., Lewis, L. M., & Johnson, R. (2013). *Freeze drying of biologics (4th ed.)*. Boca Raton: Encyclopedia of pharmaceutical science and technology.
- [46] Sampaio, G. R., Bastos, D. H. M., Soares, R. A. M., Queiroz, Y. S., & Torres, E. A. F. S. (2006). Fatty acids and cholesterol oxidation in salted and dried shrimp. *Food Chem*, 95(2), 344-351. DOI: [10.1016/j.foodchem.2005.02.030](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.02.030)
- [47] Pires, D. R., De Morais, A. C. N., Coelho, C. C. S., Marinho, A. F., Góes, L. C. D. S. A., Augusta, I. M., ... & Saldanha, T. (2018). Nutritional composition, fatty acids and cholesterol levels in Atlantic white shrimp (*Litopenaeus schmitti*). *Int. Food Res. J*, 25(1), 151-157.
- [48] Moura, A. F. P. D., & Tenuta-Filho, A. (2002). Effects of processing on free cholesterol and 7-ketocholesterol concentrations in pink-shrimp. *Food Sci. Technol*, 22, 117-121. DOI: [10.1590/S0101-20612002000200003](https://doi.org/10.1590/S0101-20612002000200003)
- [49] Dayal, J. S., Ponniiah, A. G., Khan, H. I., Babu, E. M., Ambasankar, K., & Vasagam, K. K. (2013). Shrimps—a nutritional perspective. *Curr. Sci*, 1487-1491. <http://www.jstor.org/stable/24092471>
- [50] e Silva, E. D. O., Seidman, C. E., Tian, J. J., Hudgins, L. C., Sacks, F. M., & Breslow, J. L. (1996). Effects of shrimp consumption on plasma lipoproteins. *AJCN*, 64(5), 712-717. DOI: [10.1093/ajcn/64.5.712](https://doi.org/10.1093/ajcn/64.5.712)
- [51] Zhu, Y., Li, P., Meng, R., Li, X., Qiu, Y., Wang, L., Zhang, S., Zhang, X., Lin, H., Zhai, H., & Liu, K. (2022). Lipid profiles of the heads of four shrimp species by UPLC–Q–Exactive Orbitrap/MS and their cardiovascular activities. *Molecules*, 27(2), 350. DOI: [10.3390/molecules27020350](https://doi.org/10.3390/molecules27020350)
- [52] Al-Hassan, J. M., Hinek, A., Renno, W. M., Wang, Y., Liu, Y. F., Guan, R., Wen, X. Y., Litvack, M. L., Lindenmaier, A., Afzal, M., Paul, B., Oommen, S., Nair, D., Kumar, J., Khan, M. A., Palaniyar, N., & Pace-Asciak, C. (2020). Potential mechanism of dermal wound treatment with preparations from the skin gel of arabian gulf catfish: a unique furan fatty acid (F6) and Cholesta-3,5-Diene (S5) recruit neutrophils and fibroblasts to promote wound healing. *Front. pharmacol*, 11, 899. DOI: [10.3389/fphar.2020.00899](https://doi.org/10.3389/fphar.2020.00899)
- [53] Sigma-Aldrich. (n.d.). Cholest-5-en-3-ol (3β)-, 3-(carbonochloridate) [C6012]. Retrieved March 1, 2025, from <https://www.sigmaaldrich.com/US/en/product/sigma/c6012>
- [54] Bae, M. S., Park, J. K., Kim, K. H., Cho, S. S., Lee, K. Y., & Shon, Z. H. (2018). Emission and cytotoxicity of surgical smoke: Cholesta-3,5-diene released from pyrolysis of prostate tissue. *Atmosphere*, 9(10), 381. DOI: [10.3390/atmos9100381](https://doi.org/10.3390/atmos9100381)
- [55] MedChemExpress. (n.d.). Cholesta-3,5-diene. Retrieved March 1, 2025, from <https://www.medchemexpress.com/cholesta-3-5-diene.html>
- [56] Balti, R., Ben Mansour, M., Zayoud, N., Le Balc'h, R., Brodu, N., Arhaliass, A., & Massé, A. (2020). Active exopolysaccharides based edible coatings enriched with red seaweed (*Gracilaria gracilis*) extract to improve shrimp preservation during refrigerated storage. *Food Biosci*, 34, 100522. DOI: [10.1016/j.fbio.2019.100522](https://doi.org/10.1016/j.fbio.2019.100522)



- [57] Mariutti, L. R., & Bragagnolo, N. (2017). Influence of salt on lipid oxidation in meat and seafood products: A review. *Food. Res Int*, 94, 90-100. DOI: [10.1016/j.foodres.2017.02.003](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.02.003)
- [58] Tu, C. hai, Qi, X. er, Shui, S. shan, Lin, H. min, Benjakul, S., & Zhang, B. (2022). Investigation of the changes in lipid profiles induced by hydroxyl radicals in whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) muscle using LC/MS-based lipidomics analysis. *Food Chem*, 369, 130925. DOI: [10.1016/j.foodchem.2021.130925](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130925)
- [59] Pascual-Silva, C., Alemán, A., López-Caballero, M. E., Montero, M. P., & Gómez-Guillén, M. del C. (2022). Physical and oxidative water-in-oil emulsion stability by the addition of liposomes from shrimp waste oil with antioxidant and anti-inflammatory properties. *Antioxidants*, 11(11), 2236. DOI: [10.3390/antiox11112236](https://doi.org/10.3390/antiox11112236)

Research Article

Investigation of sterols, fatty acids and qualitative indicators of lipid extract from green tiger shrimp (*Penaeus semisulcatus*) by-products

Zahra Mousavi¹, Seyed Fakhreddin Hosseini^{2,*}

1. Ph.D. Student, Department of Seafood Processing, Faculty of Marine Sciences,
Tarbiat Modares University, Noor, Iran

2. Associate Professor, Department of Seafood Processing, Faculty of Marine Sciences,
Tarbiat Modares University, Noor, Iran

(Received 4 May 2025, Received in revised form 16 August 2025, Accepted 16 August 2025)

Introduction: In recent years, there has been growing interest in utilizing aquatic by-products as valuable sources of bioactive compounds for the food, pharmaceutical, and cosmetic industries. Green tiger shrimp (*Penaeus semisulcatus*), a commercially important species, generates significant amounts of processing by-products (including heads, shells, and viscera) rich in valuable compounds such as sterols, essential fatty acids, and carotenoids. Characterizing these compounds serves a dual purpose: it enables the development of novel functional products while promoting sustainable management of fishery by-products. Marine sterols, as bioactive lipid components, play crucial roles in steroid hormone synthesis and cellular membrane integrity. The fatty acid profile of green tiger shrimp by-products is particularly notable for its high concentrations of polyunsaturated fatty acids (PUFAs), including eicosapentaenoic acid (EPA) and docosahexaenoic acid (DHA), which demonstrate cardioprotective effects. Recent studies report that saturated fatty acids constitute 35.04-52.43% of total lipids, with variations depending on processing conditions such as temperature and extraction methods. Astaxanthin, recognized as the most potent natural antioxidant present in shrimp by-products, contributes not only to the species' characteristic pigmentation but also offers significant health benefits, including anti-inflammatory properties and visual system protection. Lipid quality indices, particularly peroxide value (PV) and thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) as measures of oxidative stability, are critical determinants of shelf-life and industrial applicability. This study represents the first comprehensive investigation of the lipid profile and quality parameters of green tiger shrimp by-products, addressing a significant gap in current research.

Materials and methods: To investigate the lipid composition of green tiger shrimp by-products, samples of skin, head, and tail were collected from shrimp farming centers in southern Iran and subjected to lyophilization (freeze-drying). The ground samples were then homogenized using a 42-mesh sieve. Lipids were then extracted via Soxhlet extraction with acetone/hexane (1:1, v/v) at 50°C for 2 hours. Sterols were analyzed by GC-MS following saponification and derivatization with BSTFA. Fatty acid profiles were determined by preparing fatty acid methyl esters (FAME) using BF₃-methanol catalysis, followed by GC-FID analysis (CP-Sil 88 column). Astaxanthin was quantified spectrophotometrically at $\lambda_{max} = 462$ nm using a standard calibration curve. Color indices (L, a, b*) were measured with a portable colorimeter. Lipid quality assessment included: Solvent residue analysis by GC-MS, peroxide value determination via iodometric titration (AOCS Cd 8-53), and TBARS measurement at 532 nm after reaction with 2-thiobarbituric acid. All experiments were conducted in triplicate under controlled temperature and light conditions. Data were analyzed using SPSS v.26 with Tukey's test ($p < 0.05$).

* Corresponding author: hosseini.f@modares.ac.ir



Results and discussion: The results of this study showed that the lipid extraction efficiency from green tiger shrimp by-products was 2.81% using the acetone-hexane (50:50, v/v) solvent system. The astaxanthin concentration was 10.34 mg/100 g oil, a potent antioxidant, highlighting the strong antioxidant potential of this source for applications in the food and cosmetic industries. This finding is consistent with the findings of Sachindra et al., who used acetone as a solvent for astaxanthin extraction. The total PUFA content of 33.05%, particularly the ω -3 PUFA (13.03%), reinforces the potential of this lipid as a beneficial source for preventing cardiovascular diseases. The cholesterol content (570 mg/100 g oil) is higher than that reported in the cephalothorax of Vanami shrimp (65-70 mg) but remains within a safe range for human consumption. For pharmaceutical applications, the use of cholesterol-lowering agents, such as saponins or β -cyclodextrins, is recommended. Lipid profile analysis revealed that up to 92% of the extracted lipid consists of cholesta-3,5-diene, a minor steroid compound commonly found in cholesterol-containing samples. This compound has several biological properties relevant to biochemistry and life science research. The lipid exhibited favorable oxidative stability, with a peroxide index of 2.21 mg hydroperoxide/kg and a TBARS value of 0.305 mg MDA/kg, indicating good quality and the protective effect of natural antioxidants such as astaxanthin. These results align with those of Gulzar and Benjakul, who confirmed the stability of marine lipids for up to 30 days. The color index *a* value of 18.13 reflects the high astaxanthin content, highlighting its potential for industrial applications as a natural colorant.

Conclusions: This study demonstrates that green tiger shrimp by-products are a rich source of bioactive compounds with broad applications in the food, pharmaceutical, and cosmetic industries. The high lipid extraction efficiency, elevated astaxanthin content, and significant contribution of omega-3 fatty acid highlight the potential of these by-products for the development of health-promoting products. Although the cholesterol content is higher than in some other species, it remains within safe limits for human consumption. Moreover, the presence of natural antioxidants (e.g., astaxanthin) ensure favorable oxidative stability, enhancing shelf life and industrial applicability. The acetone-hexane solvent system proved effective for the simultaneous extraction of polar and non-polar compounds, while compliance with USP standards guarantees the absence of solvent residues, ensuring product safety. These findings represent a significant step toward a circular economy, as 40–50% of shrimp processing waste can be converted into value-added products. Future research should focus on optimizing green extraction technologies and assessing compound toxicity in animal models to further validate their applicability.

Keywords: *Shrimp by-products, lipid extract, astaxanthin, polyunsaturated fatty acids, cholesterol*

How to cite this article:

Mousavi, Z. & Hosseini, S. F. (2025). Investigation of sterols, fatty acids and qualitative indicators of lipid extract from green tiger shrimp (*Penaeus semisulcatus*) by-products. *Innov. Food Technol.*, 12 (4), 415, 431
DOI: <http://dx.doi.org/10.22104/IFT.2025.7605.2214>