تغــذیه آبزیــان
سال دوم، شماره اول،
بهار و تابستان ۱۳۹۵

پروفایل اسید چرب و ثبات اکسیداسیونی روغن استخراجی از ضایعات ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) در جریان پروسه انحلال و ترسیب ایزوالکتریک

فریده فلاحت‌گر خمیران، اسحق زکی‌پور رحیم‌آبادی*، هانیه رستم‌زاد
گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۰/۲۴ تاریخ پذیرش: ۹۵/۴/۱

چکیده
این تحقیق به منظور بررسی پروفایل اسید چرب روغن استخراجی از ضایعات ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در جریان پروسه انحلال و ترسیب ایزوالکتریک اسیدی و بازی و بررسی ثبات اکسیداسیونی روغن استخراجی در طی ۴۵ روز نگهداری در یخچال انجام شد. پروفایل اسید چرب استخراجی پس از متیل استر کردن با دستگاه گازکروماتوگراف بررسی شد. برای بررسی ثبات هیدرولیتیکی و اکسیداسیونی، مقادیر اسیدهای چرب آزاد، پراکساید و تیوباربیتوریک اسید در فواصل زمانی ۱۵ روز، اندازه‌گیری شدند. تعداد ۲۳ نوع اسید چرب در روغن استخراجی با تیمار اسیدی، خنثی و نمونه شاهد شناسایی شدند. تیمار اسیدی و بازی در جریان انحلال و ترسیب ایزوالکتریک، تأثیر معنی‌داری بر پروفایل اسید چرب و محتوای اسیدهای چرب بلند زنجیره نداشت. نسبت اسیدهای چرب امگا-۳ به امگا-۶ در تیمار اسیدی و بازی به ترتیب ۰/۱۴۸ و ۰/۱۷۲ به دست آمد. شاخص آتروژنیک و ترومبوژنیک در تیمار اسیدی و بازی به ترتیب ۰/۲۲۳، ۰/۳۸۰ و ۰/۲۰۲، ۰/۳۴۷ بود. روغن‌های استخراجی در طی مدت نگهداری در یخچال، از ثبات اکسیداسیونی خوبی برخوردار بودند.

کلمات کلیدی: انحلال و ترسیب ایزوالکتریک، پروفایل اسید چرب، استخراج روغن و ثبات اکسیداسیونی

* نویسنده مسئول: e_zakipour@yahoo.com

مقدمه

آبزیان دارای ارزش تغذیه‌ای بسیار بالایی هستند. از مهم‌ترین خصوصیات این موجودات، جدای از داشتن مقادیر قابل توجهی پروتئین با کیفیت بالا، حضور فراوان اسیدهای چرب بلندزنجیره چند غیراشباع در چربی موجود در آن‌ها است. چربی ماهیان منبع بسیار مهمی از اسیدهای چرب ضروری به ویژه اسیدهای چرب بلندزنجیره چند غیراشباعی از خانواده امگا-۳ است که علاوه بر افزودن ارزش تغذیه‌ای آبزیان، سبب افزایش توجه به آن‌ها برای مصارف تغذیه‌ای- دارویی شده است (Haliloğlu et al. 2004, 2012). این ترکیبات برای توسعه مغز و بافت‌های عصبی خصوصاً در کودکان، عملکرد بینایی و کاهش حمله قلبی و درمان بسیاری از بیماری‌ها مفید هستند (Shahidi and Miraliakbari, 2004). چربی، علاوه بر بافت عضله، در دیگر بخش‌های بدن ماهی، مانند کبد، سر، بافت مزنتریک روده، غدد جنسی، باله چربی و لایه‌های زیرین پوست و دیگر بخش‌ها وجود دارد (Haliloğlu et al. 2004; Khoddami et al. 2009).

سالانه در جهان، بیش از ده‌ها میلیون تن انواع آبزیان به صورت تازه، کنسرو، فیله، منجمد و غیره فرآوری می‌شوند. در تمامی این فرآیندها، بخش قابل ملاحظه‌ای از ماده اولیه شامل سر، باله، پوست، امعاء و احشاء، آبشش و غیره به صورت ضایعات دور ریخته شده و از چرخه مصرف خارج می‌شوند. این ضایعات نیز همانند عضله، حاوی مواد پروتئینی و چربی بسیار با ارزش از جمله اسیدهای چرب بلندزنجیره خانواده امگا-۳ هستند (Haliloğlu et al. 2004; Khoddami et al. 2009).

از روش‌های مختلف مبتنی بر استفاده از حلال برای استخراج روغن و بررسی پروفایل اسید چرب ماهیان مختلف استفاده شده است (Haliloğlu et al. 2004; Khoddami et al. 2009). روش حلالیت و ترسیب ایزوالکتریک (Isoelectric solubilization/precipitation or ISP)، نیز روش جدیدی است که برای بازیافت پروتئین و چربی از منابع مختلف جانوری از جمله آبزیان استفاده شده است (Jaczynski and Tahergorabi, 2015). در این روش، از خاصیت رفتار ایزوالکتریک پروتئین‌ها و روش تغییر pH محیط برای حلال‌سازی و متعاقب آن، ترسیب پروتئین‌ها استفاده می‌شود. همزمان با استخراج پروتئین، چربی موجود در ماده اولیه نیز استخراج می‌شود (Gehring et al. 2011). روش انحلال و ترسیب ایزوالکتریک دارای مزایای متعددی بوده و می‌تواند به عنوان یک روش مفید در بازیافت مواد مغذی از گونه‌های کم‌ارزش و محصولات جنبی ماهی، که در حال حاضر به طور مستقیم برای غذای انسان کاربرد ندارند، استفاده می‌شود. با استفاده از این روش، امنیت غذایی بهبود یافته و آلودگی محیط زیست و هزینه کنترل آلودگی کاهش می‌یابد (Hultin et al. 2005; Tahergorabi et al. 2012).

سالانه مقادیر زیادی از آبزیان خصوصاً ماهی در کشور صید و تولید می‌شود. در جریان عمل‌آوری‌های مختلف این آبزیان برای تولید محصولات مختلف، مقادیر زیادی ضایعات تولید می‌شوند، که دورریز آن‌ها، علاوه بر از بین بردن مواد مغذی موجود در آن‌ها، سبب آلودگی محیط زیست نیز می‌شود. اگرچه برخی تحقیقات به استخراج مواد مغذی از ضایعات عمل‌آوری آبزیان پرداخته‌اند، ولی منابع اندکی در زمینه به‌کارگیری شیوه ISP برای استخراج چربی از ضایعات عمل‌آوری ماهی وجود دارد. لذا در این تحقیق، سعی بر این است که با استفاده از تیمارهای اسیدی و بازی ISP، روغن موجود در امعاء و احشای ماهی قزل‌آلای رنگین کمان استخراج شده و ضمن بررسی بازده روغن استخراجی و پروفایل اسید چرب آن، ارزش تغذیه‌ای و هم‌چنین، ثبات اکسیداسیونی و هیدرولیتیکی روغن استخراجی بررسی شود.

مواد و روش‌ها

تهیه نمونه و روش انجام کار

برای انجام تحقیق حاضر، ابتدا ضایعات عمل‌آوری (امعاء و احشاء) ماهی قزل‌آلای رنگین کمان از یکی از مغازه‌های ماهی‌فروشی (بندر انزلی، گیلان) تهیه

شد و در کوتاه‌ترین زمان ممکن (کمتر از ۴ ساعت) در مجاورت یخ به آزمایشگاه فرآوری گروه شیلات دانشکده منابع طبیعی (صومعه‌سرا، گیلان) منتقل شدند. پس از آماده‌سازی اولیه شامل تمیز کردن امعاء و احشاء و شست‌وشو، کار استخراج روغن با دو تیمار اسیدی و بازی در روش حلالیت و ترسیب ایزوالکتریک (ISP) انجام شد. روغن تهیه شده در ظرف‌های تیره قرار داده شده و پس از خارج کردن هوای داخل ظروف با وارد کردن گاز ازت، به خوبی درب بندی شد. سپس به مدت ۴۵ روز در یخچال نگهداری و برای بررسی تغییرات هیدرولیتیکی و اکسیداسیونی در فواصل صفر، ۱۵، ۳۰ و ۴۵ روز نمونه‌برداری انجام شد. نمونه‌های مربوط به آنالیز پروفایل اسید چرب تا زمان انجام آزمایش در فریزر ۱۸- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. از روش استخراج با حلال نیز برای استخراج نمونه شاهد استفاده شد.

استخراج چربی به روش حلالیت و ترسیب ایزوالکتریک

برای این منظور، مقدار ۱۴۰ گرم امعاء و احشای چرخ شده و به همراه شش برابر آب تقطیر شده و دیونیزه شده سرد (۱:۶ گوشت به آب، نسبت وزنی- حجمی) مخلوط و با همزن آزمایشگاهی (مدل GSB-827، شرکت GOSINIC، چین) با سرعت بالا به مدت ۱۰ دقیقه هموژن شد. در تمام مراحل استخراج چربی، دما روی ۴ درجه سانتی‌گراد کنترل شد. pH محلول آب و گوشت به‌وسیله pH متر دیجیتال (مدل MV.TEMP، شرکت Sana ، ایران) اندازه‌گیری شد. عمل هموژن کردن مخلوط در خلال تغییر pH با اسید و باز ادامه یافت. pH نمونه‌ها برای تیمار اسیدی با استفاده از اسید کلریدریک ۶ نرمال و برای تیمار بازی با استفاده از NaOH ۱۰ نرمال به ترتیب به ۰/۰۵ ± ۲/۵۰ و ۰/۰۵ ± ۱۱/۵۰ طی مدت زمان ۱۰ دقیقه تغییر یافت. برای جداسازی چربی از دیگر بخش‌ها (پروتئین و ناخالصی‌ها) از سانتریفوژ یخچال‌دار (مدل PIT320R، شرکت طیف آزما، ایران) با دور ۱۰۰۰۰ به مدت ۱۰ دقیقه و دمای ۱۵- درجه سانتی‌گراد استفاده شد. بعد از طی زمان تعیین شده، لوله های فالکون از دستگاه خارج و فاز بالایی از سه فاز ایجاد شده توسط سمپلر جداسازی شد (Tahergorabi et al. 2012). روغن استخراجی در ظروف شیشه‌ای تیره و در فریزر ۱۸- درجه سانتی‌گراد تا زمان انجام آزمایش نگهداری شد.

استخراج چربی نمونه شاهد

برای استخراج روغن از نمونه شاهد، از روش استخراج با حلال (کلروفرم، متانول و آب) به‌کار گرفته شده توسط Bakar و همکاران (۲۰۰۸) استفاده شد.

آنالیز پروفایل اسید چرب با دستگاه گاز کروماتوگراف

برای متیل‌استر کردن اسیدهای چرب از روش Metcalf و همکاران (۱۹۹۶) استفاده شد. برای آنالیز اسیدهای چرب از دستگاه گاز کروماتوگراف (مدل Unicam 4600) استفاده گردید. کتون مورد استفاده از نوع (BPX70, ID:0.25 mm × 0.22 µm × 30 m)، غیر قطبی بوده و اسیدهای چرب به وسیله دتکتور FID شناسایی شدند. شرایط دستگاه گاز کروماتوگرافی به شرح زیر بوده است: دمای قسمت انجکتور ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد و دمای قسمت دتکتور ۳۰۰ درجه بود. برنامه دمایی آون دستگاه گازکروماتوگرافی: دمای ابتدایی آون ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد بود که به مدت ۵ دقیقه در این دما باقی ماند. سپس دمای آون با سرعت ۲۰ درجه سانتی‌گراد در دقیقه افزایش یافته و به ۱۸۰ درجه رسید و به مدت ۹ دقیقه در این دما ثابت ماند. در نهایت، دمای آون دوباره با سرعت ۲۰ درجه سانتیگراد در دقیقه افزایش یافته و به دمای ۲۰۰ درجه رسید و به مدت ۲۵ دقیقه در این دما باقی ماند. از گاز هلیوم به عنوان گاز حامل استفاده شد و از روش Split و نسبت ۱:۱۰۰ استفاده شد. شناسایی اسیدهای چرب از طریق مقایسه با RT (Retention time) استانداردهای شناخته شده انجام شد.

شاخص‌های آتروژنیک (Atherogenic) و ترومبوژنیک (Thrombogenic)

شاخص آتروژنیک (AI) نسبت اسیدهای چرب اشباع (SFAs) را به اسیدهای چرب غیراشباع (UFAs) مشخص می‌کند. اسیدهای چرب اشباع سبب چسبندگی چربی‌ها به سلول‌های دستگاه گردش خون شده و بنابراین، Pro-atherogenic هستند. اسیدهای چرب غیراشباع مانع تجمع پلاک‌ها شده و در نتیجه خطر بیماری‌های قلبی و عروقی را کاهش می‌دهند و بنابراین Anti-atherogenic به حساب می‌آیند. شاخص ترومبوژنیک (TI) میزان تمایل به ایجاد لخته در رگ‌های خونی را نشان می‌دهد و به صورت نسبت اسید چرب اشباع atherogenicPro- به اسید چرب Anti atherogenic گزارش می‌شوند (Ulbricht and Southgate, 1991). از معادلات زیر برای محاسبه AI و TI استفاده شد:

$$AI= [C12:0 + (4 \times C14:0) + C16:0] / [\Sigma MUFA + \Sigma\omega\text{-}6\ PUFA + \Sigma\omega\text{-}3\ PUFA]$$

$$TI= (C14:0 + C16:0 + C18:0) / (0.5 \times MUFA) + (0.5 \times \omega\text{-}6\ PUFA) + (3\times \omega\text{-}3\ PUFA) + (\omega\text{-}3\ PUFA / \omega\text{-}6\ PUFA)$$

آنالیزهای شیمیایی

اندازه‌گیری مقدار اسیدهای چرب آزاد (FFA) با استفاده از روش تیتراسیون با هیدروکسید سدیم انجام شد (Egan et al. 1997). برای اندازه‌گیری مقدار پراکساید نیز از روش Egan و همکاران (۱۹۹۷) استفاده شد. مقدار تیوباربیتوریک اسید (TBA) نیز به روش رنگ سنجی اندازه‌گیری گردید (Egan et al. 1997).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری مینی‌تب نسخه ۱۶ و آزمون کولموگروف-اسمیرنوف، ابتدا نرمالیته داده‌ها بررسی شد. برای مقایسه بین تیمارها و همچنین، تغییرات کیفی روغن ماهی طی نگهداری در یخچال از آزمون تجزیه واریانس یک طرفه (One-Way ANOVA) استفاده شد. در صورت وجود اختلاف معنی‌دار از آزمون توکی (Tukey) در سطح ۵٪ استفاده شد.

نتایج

پروفایل اسید چرب روغن استخراجی در نمونه شاهد و تیمارهای اسیدی و بازی طی استخراج ISP در جدول ۱ آورده شده است. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، تعداد ۲۳ نوع اسید چرب از گروه‌های اسید چرب اشباع (SFA)، تک غیراشباع (MUFA) و چند غیراشباع (PUFA) در نمونه‌های شاهد و تیمارهای اسیدی و بازی چربی استخراج شده از امعاء و احشای ماهی قزل‌آلا شناسایی شد. اسیدهای چرب شناسایی شده دارای ۱۴ تا ۲۲ اسید چرب بودند. برخلاف نمونه شاهد و تیمار اسیدی، در چربی استخراجی تیمار بازی، اسیدهای چرب C17:1، C22:1، C22:4 و C22:5 به مقدار ناچیز شناسایی شد. در نمونه شاهد، اسیدهای چرب چندغیراشباعی، گروه غالب هم به لحاظ تعداد اسیدهای چرب شناسایی شدند و هم به لحاظ مقدار (۴۰/۵۹۵ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم اسید چرب) بودند. بعد از آن، اسیدهای چرب تک غیراشباعی به لحاظ مقدار، غالب بودند. همین ترتیب در تیمارهای اسیدی و بازی نیز مشاهده شد، با این تفاوت که در تیمار بازی در مقایسه با دو تیمار دیگر، محتوای اسیدهای چرب چند غیراشباعی اندکی بیشتر و در عوض، محتوای اسیدهای چرب اشباع اندکی کمتر بود. نسبت اسیدهای چرب چند غیراشباعی خانواده امگا-۳ به امگا-۶ (n-3/n-6) در هر سه تیمار بسیار پایین بود. در عوض، شاخص‌های آتروژنیک و ترومبوژنیک در هر سه تیمار پائین بود و در وضعیت مناسبی قرار داشتند.

جدول ۱- پروفایل اسید چرب روغن استخراجی در تیمارهای اسیدی و بازی ISP و نمونه شاهد.

نوع اسید چرب	نوع تیمار		
	تیمار شاهد (نمونه خام)	تیمار اسیدی	تیمار بازی
C14:0	۰/۶۶۹ ± ۰/۰۰۶^{B}	۰/۷۶۵ ± ۰/۰۰۳^{A}	۰/۶۸۴ ± ۰/۰۰۳^{B}
C15:0	۰/۱۹۴ ± ۰/۰۶۸^{A}	۰/۱۶۴ ± ۰/۰۶۸^{A}	۰/۱۲۹ ± ۰/۰۶۶^{A}
C16:0	۱۴/۲۸۴ ± ۰/۱۶۱^{A}	۱۴/۴۶۰ ± ۰/۱۶۱^{A}	۱۳/۱۹۶ ± ۰/۱۶۱^{B}
C17:0	۰/۱۹۳ ± ۰/۴۹۰^{A}	۰/۱۸۲ ± ۰/۴۹۰^{A}	۰/۲۰۵ ± ۰/۰۵۰^{A}
C18:0	۵/۰۹۳ ± ۰/۰۱۹^{A}	۴/۶۴۱ ± ۰/۰۲۰^{C}	۴/۹۸۷ ± ۰/۰۲۱^{B}
C20:0	۰/۲۵۸ ± ۰/۰۱۸^{B}	۰/۲۲۲ ± ۰/۰۱۸^{B}	۰/۳۷۱ ± ۰/۰۲۲^{A}
C22:0	۰/۲۲۳ ± ۰/۰۳۷^{A}	۰/۲۲۰ ± ۰/۰۳۷^{A}	۰/۳۰۰ ± ۰/۰۵۲^{A}
ΣSFA	۲۰/۹۱۴	۲۰/۶۵۴	۱۹/۸۷۲
C16:1	۱/۹۴۳ ± ۰/۱۱۱^{A}	۲/۰۵۲ ± ۰/۰۹۹^{A}	۱/۸۴۲ ± ۰/۱۱۱^{A}
C17:1	۰/۰۰۰ ± ۰/۰۰۰^{B}	۰/۰۰۰ ± ۰/۰۰۰^{B}	۰/۰۹۳ ± ۰/۰۰۰^{A}
C18:1	۳۶/۳۴۶ ± ۰/۳۳۱^{A}	۳۶/۴۹۳ ± ۰/۳۲۵^{A}	۳۶/۱۷۹ ± ۰/۳۳۴^{A}
C20:1	۰/۱۸۳ ± ۰/۰۰۷ ^{B}	۰/۱۷۴ ± ۰/۰۰۷ ^{B}	۰/۲۳۴ ± ۰/۰۰۸^{A}
C22:1	۰/۰۰۰ ± ۰/۰۰۰^{B}	۰/۰۰۰ ± ۰/۰۰۰^{B}	۰/۱۳۸ ± ۰/۰۰۰^{A}
ΣMUFA	۳۸/۴۷۲	۳۸/۷۱۹	۳۸/۴۸۶
C18:2 (n-6)	۳۱/۷۵۵ ± ۰/۰۴۶^{B}	۳۲/۴۱۹ ± ۰/۰۴۵^{A}	۳۱/۸۸۴ ± ۰/۰۴۹^{B}
C18:3 (n-6)	۰/۷۷۸ ± ۰/۰۱۰^{A}	۰/۸۰۵ ± ۰/۰۰۹^{A}	۰/۸۱۷ ± ۰/۰۱۱^{A}
C18:3 (n-3)	۲/۵۰۶ ± ۰/۰۰۹^{B}	۲/۴۸۵ ± ۰/۰۰۸^{B}	۲/۵۴۹ ± ۰/۰۱۱^{A}
C20:2	۰/۹۹۹ ± ۰/۳۱۴^{A}	۰/۸۵۳ ± ۰/۳۱۴ ^{A}	۱/۱۴۳ ± ۰/۳۲۵^{A}
C20:3 (n-3)	۱/۶۰۲ ± ۰/۰۳۸^{AB}	۱/۴۸۸ ± ۰/۰۳۸^{B}	۱/۷۶۹ ± ۰/۰۳۹^{A}
C20:3 (n-6)	۰/۹۹۱ ± ۰/۰۵۴^{A}	۰/۹۰۳ ± ۰/۰۴۲^{A}	۱/۰۱۲ ± ۰/۰۵۶^{A}
C20:4 (n-6)	۰/۶۲۵ ± ۰/۰۳۴^{A}	۰/۵۱۳ ± ۰/۰۳۴^{A}	۰/۵۳۹ ± ۰/۰۳۷^{A}
C20:5(n-3) EPA	۰/۱۰۵ ± ۰/۰۴۰^{A}	۰/۱۱۱ ± ۰/۰۴۰^{A}	۰/۱۶۵ ± ۰/۰۴۴^{A}
C22:4 (n-6) DTA	۰/۰۰۰ ± ۰/۰۰۰^{B}	۰/۰۰۰ ± ۰/۰۰۰^{B}	۰/۰۳۱ ± ۰/۰۰۰^{A}
C22:5 (n-3) DPA	۰/۰۰۰ ± ۰/۰۰۰^{B}	۰/۰۰۰ ± ۰/۰۰۰^{B}	۰/۱۰۸ ± ۰/۰۰۰^{A}
C22:6 (n-3) DHA	۱/۲۳۴ ± ۰/۰۳۳^{A}	۱/۰۵۲ ± ۰/۰۳۲^{B}	۱/۳۰۶ ± ۰/۰۴۱^{A}
Σ PUFA	۴۰/۵۹۵	۴۰/۶۲۹	۴۱/۳۲۳
n-3/ n-6	۰/۱۵۹	۰/۱۵۹	۰/۱۴۸
AI	۰/۲۱۷	۰/۲۲۳	۰/۳۸۰
TI	۰/۳۷۹	۰/۲۰۲	۰/۳۴۸

اعداد داخل جدول بیانگر میانگین ± انحراف معیار (تعداد۲ تکرار) هستند. حروف بزرگ مختلف در هر ردیف بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح معنی‌داری ۵ درصد می‌باشد.

در جدول ۲، نتایج مربوط به اندازه‌گیری فاکتورهای فیزیکوشیمیایی شاخص هیدرولیز و اکسیداسیون چربی در طی ۴۵ روز نگهـــداری روغن‌های اسیدی و بازی در یخچال آورده شده است.

جدول ۲- نتایج آنالیز شیمیایی نمونه روغن استخراجی در دو تیمار اسیدی و بازی ISP طی نگهداری در یخچال.

روز نمونه‌برداری	مقادیر FFA (% oleic acid)		مقادیر PV (meq O2/Kg lipid)		مقادیر TBA (mg malonadehyde/kg)	
	تیمار اسیدی	تیمار بازی	تیمار اسیدی	تیمار بازی	تیمار اسیدی	تیمار بازی
روز صفر	۰/۴۳ ± ۰/۰۱^{Ad}	۰/۲۶ ± ۰/۰۲^{Bb}	۲/۸۴ ± ۰/۱۵^{Ac}	۱/۴۳ ± ۰/۲۶^{Bc}	۰/۱۶ ± ۰/۰۳^{Ac}	۰/۱۶ ± ۰/۰۴^{Ab}
روز ۱۵	۰/۵۱ ± ۰/۰۳^{Ac}	۰/۲۶ ± ۰/۰۲^{Bb}	۸/۴۵ ۰±/۳۱^{Aa}	۴/۶۲ ± ۰/۱۱^{Ba}	۰/۲۳ ± ۰/۰۳^{Ac}	۰/۱۸ ± ۰/۰۱^{Ab}
روز ۳۰	۰/۹۲ ± ۰/۰۵^{Ab}	۰/۳۴ ± ۰/۰۴^{Bb}	۴/۶۵ ۰±/۵۱^{Ab}	۲/۴۵ ± ۰/۴۴^{Bb}	۰/۶۱ ± ۰/۰۰^{Aa}	۰/۳۴ ± ۰/۰۳^{Ba}
روز ۴۵	۱/۳۳ ± ۰/۲۵^{Aa}	۰/۶۲ ± ۰/۰۴^{Ba}	۳/۳۴ ± ۰/۴۳^{Ac}	۱/۲۶ ± ۰/۰۸^{Bc}	۰/۳۹ ± ۰/۰۲^{Ab}	۰/۲۰ ± ۰/۰۱^{Bb}

اعداد داخل جدول بیانگر میانگین ± انحراف معیار (تعداد۳ تکرار) هستند. برای هر فاکتور اندازه‌گیری شده، حروف بزرگ مختلف در هر ردیف بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح معنی‌داری ۵ درصد و حروف کوچک مختلف در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار در هر تیمار در روزهای مختلف نگه‌داری، در سطح معنی‌داری ۵ درصد می‌باشد

همان طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، محتوای اسیدهای چرب آزاد در طول دوره نگهداری، در تیمار بازی کمتر از تیمار اسیدی بود. در هر دو تیمار اسیدی و بازی، محتوای اسیدهای چرب آزاد از یک روند افزایشی ملایم برخوردار بودند. محتوای پراکساید در روغن استخراجی در هر دو تیمار اسیدی و بازی تا روز ۱۵ نگهداری روند افزایشی داشت، ولی در ادامه تا روز ۴۵ نگهداری، کاهش نشان داد. روند تغییرات در محتوای پراکسایدها در تیمار اسیدی، بیش از تیمار بازی بود. روند افزایش و کاهش در محتوای تیوباربیتوریک اسید نیز مشاهده شد که البته با یک تأخیر ۱۵ روزه همراه بود. به این صورت که محتوای تیوباربیتوریک اسید تا روز ۳۰ نگهداری در یخچال افزایش داشت و در ادامه، روند کاهشی را شاهد بودیم.

بحث

ماهی بهترین منبع برای اسیدهای چرب غیراشباع با چند پیوند دوگانه، به ویژه اسیدهای چرب امگا-۳ خصوصاً دو اسید چرب EPA و DHA است (Ozogul et al., 2008). روغن ماهی نیز منبع غنی از اسیدهای چرب امگا-۳ است که دریافت کافی آن‌ها در رژیم غذایی روزانه به دلیل اثرات مفید تغذیه‌ای و درمان احتمالی بسیاری از بیماری‌ها اخیراً مورد توجه و توصیه بسیاری از کارشناسان و محققان قرار گرفته است. سه ویژگی روغن آبزیان شامل: ۱- درجه بالای غیراشباعی، ۲- تعداد اتم‌های کربن در اسیدهای زنجیره بلند چند غیراشباع PUFA و ۳- تعداد زیاد و تنوع در اسید چرب، آن را نسبت به دیگر روغن‌های در دسترس منحصر به فرد می‌کند (Kolakowska et al. 2006).

همان طور که در جدول ۱ مشاهده می شود، تعداد ۲۳ اسید چرب از گروه اسیدهای چرب اشباع (SFA)، تک غیراشباع (MUFA) و چند غیراشباع (PUFA) در ۳ تیمار اسیدی، بازی و خنثی، استخراج شده از امعاء و احشای ماهی قزل‌آلا شناسایی شد. در پژوهش حاضر، میزان اسید چرب اشباع، در نمونه خنثی ۲۰/۹۱ (گرم در صد گرم) و نوع غیراشباع ۷۹/۰۱ (گرم در صد گرم) بوده است. در تحقیق انجام شده توسط عبداللهی و همکاران (۱۳۹۲) بر روی ارزیابی بازده تولید، زائدات و ارزش تغذیه‌ای فرآورده‌های مختلف طی فرآوری ماهی قزل‌آلا، مقدار اسیدهای چرب اشباع و غیراشباع در امعاء و احشاء به ترتیب ۲۳/۱۴ و ۷۶/۸۵ بیان شد که با مقادیر به دست آمده از این تحقیق هم‌خوانی دارد. گروه‌های اسید چرب تک غیراشباع در تیمار اسیدی، بازی و شاهد در تحقیق حاضر، به ترتیب مقادیر ۳۸/۷۱، ۳۸/۴۸ و۳۸/۴۲ (گرم در صد گرم) و گروه‌های غیراشباع در تیمار اسیدی، بازی و شاهد به ترتیب مقادیر ۴۰/۶۲، ۴۱/۳۲ و ۴۰/۵۹ (گرم در صد گرم) را به خود اختصاص دادند. میزان این اسیدهای چرب در تیمارهای مورد بررسی، تفاوت فاحشی نداشتند.

مجموع ایکوزاپنتانوئیک اسید و دوکوزاهگزانوئیک اسید در نمونه‌های مورد بررسی در این تحقیق در تیمارهای اسیدی، بازی و شاهد به ترتیب ۱/۱۶، ۱/۴۷ و ۱/۳۹ (گرم در صد گرم) بود. Guler و همکاران (۲۰۰۸) مجموع این اسیدهای چرب را در کپور ماهی مقدار ۱۱/۵۳٪ بیان کردند. مقدار این دو اسید چرب در اندام‌های مختلف بدن مانند کبد، عضله، باله چربی و غدد جنسی در ماهی قزل‌آلای پرورشی در آب شیرین به ترتیب ۲۷/۳۵، ۲۶/۲۲، ۸/۳۸ و ۲۳/۱۵ بوده است (Haliloğlu et al. 2004). اختلاف بین این مقادیر و مقادیر به دست آمده در تحقیق حاضر می‌تواند ناشی از عوامل مختلف مانند تفاوت در بافت و نمونه مورد استفاده، تغذیه، فصل و شرایط محیطی و غیره باشد.

Chen و همکاران (۲۰۰۷) در بررسی فرآورده‌های جانبی ماهی قزل‌آلا (سر، امعاء و احشاء، پوست، استخوان، فلس)، مجموع ایکوزاپنتانوئیک اسید و دوکوزاهگزانوئیک اسید در pH اسیدی ۲۲/۵۲-۲۲/۲۷٪ و در pH بازی ۲۱/۸۲-۲۱/۲۵٪ محاسبه کردند. البته همان‌طور که ذکر شد، این پژوهش، بر روی فرآورده‌های جانبی قزل‌آلا انجام شد که اختلاف زیاد بین مقادیر به دست آمده در این پژوهش و نتایج ذکر شده توسط Chen و همکاران،

احتمالاً به دلیل تفاوت در نوع ماده اولیه استفاده شده است.

آراشیدونیک اسید یک ماده پیش‌ساز پروستاگلاندین‌ها و ترمبوکسان است و می‌تواند فرایند لخته‌شدن خون را تسهیل کند و در بهبود زخم مؤثر باشد، علاوه بر این، در رشد هم نقش مهمی دارد (Abd. Rahman et al. 1995). در چربی استخراج شده طی فرایند ISP، مقدار آراشیدونیک اسید در تیمار اسیدی، بازی و شاهد به ترتیب ۰/۵۱، ۰/۵۳ و ۰/۶۲ (گرم در صد گرم) بود. Chen و همکاران (۲۰۰۷) در بررسی پروفایل اسید چرب در چربی استخراج شده از محصولات جانبی ماهی قزل‌آلا، درصد آراشیدونیک اسید در pH اسیدی را ۰/۸۱-۰/۷۶٪ و در pH بازی بین ۰/۸۱-۰/۷۰٪ بیان کردند که با مقادیر به دست آمده در تحقیق حاضر تقریباً برابری می‌کند.

نسبت اسیدهای چرب بلندزنجیره ω-3/ω-6 شاخص خوبی برای مقایسه ارزش غذایی روغن ماهی در گونه‌های مختلف است و نیز به عنوان شاخصی زیست‌دارویی استفاده می‌شود (Bakar et al. 2008). در واقع، از فاکتورهای تعیین کننده کیفیت روغن، نسبت اسیدهای چرب غیراشباع خانواده امگا-۶ به امگا-۳ (ω-3/ω-6) است. نتایج پژوهش حاضر، نشان داد که این نسبت در تیمار بازی با ۰/۱۷ دارای بیشترین مقدار است. در این پژوهش، مجموع اسید چرب امگا-۳ در تیمار شاهد، اسیدی و بازی به ترتیب ۵/۴۴، ۵/۱۳ و ۵/۸۹ (گرم در صد گرم اسید چرب) و مجموع اسیدهای چرب امگا-۶ نیز در تیمار شاهد ۳۴/۱۴ و در تیمار اسیدی و بازی به ترتیب ۳۴/۶۴ و ۳۴/۲۸ (گرم در صد گرم اسید چرب) است. با توجه به نتایج به دست آمده، استخراج اسیدی و بازی در روش انحلال و ترسیب ایزوالکتریک (ISP) بر محتوای اسیدهای چرب بلندزنجیره امگا-۳ تأثیری نداشته است. Chen و همکاران (۲۰۰۷) با بررسی اسید چرب محصولات جانبی ماهی قزل‌آلای رنگین کمان به این نتیجه رسیدند که محتوی اسید چرب لیپید به دست آمده به شیوه ISP در pH اسیدی و بازی با میزان اسید چرب اولیه مشابهت دارد و بجز در آلفالینولنیک اسید و لینولئیک اسید اختلاف ناچیزی مشاهده شد. از این شباهت نتیجه‌گیری می‌شود که pH در طی حلالیت و ترسیب پروتئین، در محتوی اسیدهای چرب امگا-۳ و امگا-۶ و به‌طور کل بر روی نسبت ω-3/ω-6 تأثیری ندارد. Okada و Morrissey در سال ۲۰۰۷ در بررسی روغن استخراجی از ماهی ساردین به شیوه تغییر pH، هیچ اختلافی در سطح اسید چرب چندغیراشباعی امگا-۳ (ω-3 PUFA) تحت تأثیر تنظیم pH مشاهده نکردند. احتمالاً دمای پایین و زمان کوتاه در طی فرآیند ISP منجر به ممانعت در امکان تخریب اسیدهای چرب چند غیراشباعی می‌شود.

شاخص‌های Thrombogenicity و Atherogenicity

شاخص‌های ترومبوژنیک و آتروژنیک میزان اثرات متفاوت اسیدهای چرب بر روی سلامت قلب و عروق را نشان می‌دهند. خصوصاً این دو شاخص در مواجهه با گسترش degenerative/ pathological نمایانگر تغییراتی است که می‌توان آن را به بیماری-های قلبی-عروقی نسبت داد (Ulbricht and Southgate, 1991; Cahu et al. 2004).

شاخص‌های AI و TI برای روغن استخراج شده از امعاء و احشای ماهی قزل‌آلا طی فرایند ISP در تیمار اسیدی به ترتیب ۰/۲۲۳، ۰/۳۸۰ و در تیمار بازی به ترتیب ۰/۲۰۲، ۰/۳۴۸ و در تیمار شاهد یا خنثی به ترتیب ۰/۲۱۷، ۰/۳۷۹ بوده است. Kaya و Turan در سال ۲۰۰۸، مقدار دو شاخص AI و TI را برای ماهی آنچوی به‌ترتیب در محدوده ۰/۲۷ ۰/۲۶ و ۱/۴۲-۱/۴۶ به‌دست آوردند. کمتر بودن این دو شاخص، بیانگر مناسب‌تر بودن چربی برای سلامت انسان است. در تحقیقی که Tahergorabi و همکاران در سال ۲۰۱۳ بر روی ژل‌های تهیه شده از پروتئین ایزوله ماهی قزل‌آلا به شیوه ISP انجام دادند، بیشترین میزان شاخص TI را ۰/۴۱و شاخص AI را ۰/۶۲ گزارش کردند، در حالی که برای

ژل‌های غنی‌شده با روغن ماهی، مقدار TI ۰/۲۱ و مقدار AI ۰/۷۳ گزارش شد.

شاخص اسید چرب آزاد (فساد هیدرولیتیکی)

تغییرات در میزان اسید چرب آزاد در روغن استخراج شده به روش ISP در جدول ۲ نشان داده شده است. میزان اسید چرب آزاد در روز اول نگهداری در تیمار اسیدی (بیان شده به صورت درصد اولئیک اسید) از مقدار ۰/۴۳ به ۱/۳۳ در روز آخر (۴۵) رسید و در تیمار بازی مقدار آن در روز اول از ۰/۰۲۶ به ۰/۶۲ در روز آخر نگه‌داری رسید. همان طور که مشاهده می‌شود، هر دو تیمار روند افزایشی در میزان FFA داشتند. این روند تا حدودی با یک شیب برابر در روزهای مختلف ادامه یافت. وجود اسید چرب آزاد در روغن‌ها و چربی‌ها باعث بروز بوهای نامطبوع و تغییرات در بافت‌ها می‌شود (Barthet et al. 2008).

بر اساس گزارش‌های موجود، میزان FFA عامل مستقیم افت کیفیت نیست، اما افزایش مقادیر آن باعث افزایش اکسیداسیون چربی می‌شود (Ben Gigirey et al. 1999). ارزیابی آن به منظور توسعه فساد با توجه به اثر پراکسیدانی آن روی چربی و اثر کاتالیتیک گروه کربوکسیل در شکل‌گیری رادیکال‌های آزاد از طریق تجزیه هیدروپراکسیدها مهم به نظر می‌رسد (Aubourg, 2001). فساد هیدرولیتیک، در نتیجه هیدرولیز تری‌گلیسریدها و شکل‌گیری گلیسرین و اسید چرب آزاد بروز می‌کند و معمولاً با طعم نامطبوع همراه است (Hwang and Regenstein, 1993). محققان دیگری نیز گزارش کردند که در طی زمان نگه‌داری، میزان FFA افزایش پیدا می‌کند و ارتباط مستقیمی بین کاهش تازگی ماهی و افزایش میزان FFA وجود دارد (Özogul, 2005). محتوی اسید چرب آزاد، یکی از مهم‌ترین فاکتورهایی است که باید در کیفیت روغن کنترل شود. کمترین میزان FFA، بیشترین کیفیت و کمترین اکسیداسیون را به همراه دارد. بیشترین میزان FFA، ٪۷ گزارش شده است (Bimbo, 1998).

شاخص مقدار پراکسید

بررسی تغییرات اولیه اکسیداسیونی با اندازه‌گیری پراکسید انجام شد. پراکسید محصول اولیه اکسیداسیون مواد چرب است و به طور کلی هر چقدر درجه غیراشباعی روغن‌ها بیشتر باشد، روغن‌ها و چربی‌ها آمادگی بیشتری برای اکسیداسیون دارند. وقتی که میزان پراکسید به حد معینی برسد، تغییرات مختلفی در روغن‌ها و چربی‌ها روی می دهد و مواد فرار آلدئیدی و کتونی که در ایجاد بو و طعم نامطلوب مواد چرب مؤثرند، ایجاد می‌شوند. به همین خاطر، پراکسید تولیدشده گرچه مستقیماً سبب بو و طعم نامطلوب در مواد چرب نیست، ولی معرف درجه پیشرفت اکسیداسیون است. هیدروپراکسیدها فقط برای بررسی مراحل اولیه اکسیداسیون چربی مفید هستند (Pérez-Villareal and Howgate, 1991). میزان پراکسید در مراحل اولیه نگه‌داری تقریباً پایین است. این مرحله را دوره اکسیداسیون کند می‌گویند که متأثر از برخی از ترکیبات سلولی است (حسینی، ۱۳۸۲). این ترکیبات عمر محدودی داشته و سرانجام اکسیده می‌شوند. هنگامی که این مسئله رخ می‌دهد، دوره اکسیداسیون کند پایان یافته و به دنبال آن، افزایش سریع پراکسید یا اکسیداسیون سریع مشاهده می‌شود (Hultin, 1994)، اما مجدداً با افزایش زمان نگهداری مقادیر پراکسید، کاهش می‌یابد. محققان دلیل این کاهش را بر اساس مکانیسم‌های تک مولکولی و دو مولکولی بیان کردند. یعنی زمانی که مقادیر هیدروپراکسید کم است، سرعت تشکیل این ترکیبات سریع‌تر از شکستگی آن‌ها است. در چنین زمانی بر اساس مکانیسم یک‌مولکولی میزان هیدروپراکسید شروع به بالا رفتن می‌کند و بعد از زمانی که غلظت هیدروپراکسید افزایش یافت، بر اساس مکانیسم دومولکولی، هیدروپراکسیدها سریعاً شکسته شده و سرعت تجزیه آن‌ها بیش از سرعت تشکیل‌شان می‌شود. به دنبال چنین مکانیسمی، مقدار هیدروپراکسید کاهش می‌یابد. به‌علاوه، واکنش‌های ثانویه اکسیداسیونی و تولید ترکیبات

کربونیلی نظیر استالدئید، استون، اسیدهای فرار و گازهای فرار نیز می‌تواند دلایل چنین کاهشی باشد (Vidya and Srikar, 1996). در سال ۲۰۰۷، Petty اثرات pH بالا و پایین را بر روی اکسیداسیون چربی در ماهی ماکرل اسپانیایی (*Scomberomorus maculatus*) بررسی کرد. نتایج حاکی از این بود که میزان پراکسید در ۳ pH=۲/۵ بعد از ۴ ساعت شروع به افزایش می‌کند و در pH= ۶/۵ بعد از ۱۲ ساعت افزایش می یابد، در حالی که در pH=۱۱/۵ میزان اکسیداسیون کاهش پیدا می‌کند. همان طور که از نتایج مشهود است، میزان پراکسید در تیمار بازی کمتر از تیمار اسیدی است. این امر به دلیل محتوی کمتر روغن استخراجی در اثر پدیده صابونی‌شدن رخ می‌دهد.

شاخص تیوباربیتوریک اسید (TBA)

ترکیبات ثانویه اکسیداسیون با شاخص TBA اندازه‌گیری شد. وجود مواد واکنشی TBA به علت اکسیداسیون لیپیدها است که در طی آن، پراکسیدها به آلدئید و کتون اکسیده می‌شوند (Lindsay, 1991). در سال ۲۰۰۷ Petty اثرات pH بالا و پایین را بر روی اکسیداسیون چربی در ماهی ماکرل اسپانیایی (*S. maculatus*) بررسی کرد. نتایج نشان داد میزان TBA در pH اسیدی (pH=۲/۵)، در زمان نگهداری در یخچال بیش از pH شاهد بود، در حالی که در pH قلیایی (pH=۱۱/۵)، مقدار آن نسبت به دو گروه دیگر به میزان قابل‌ملاحظه‌ای پایین‌تر بود.

در تحقیقی که بر روی ژل غنی‌شده با روغن حاوی اسیدهای چرب چند غیراشباعی امگا-۳ توسط Ke و همکاران در سال ۱۹۸۴ بر روی محصولات دریایی انجام شد، مقدار TBA زیر mg/kg ۰/۵۸ را قابل‌پذیرش و بین ۱/۵۱-۰/۵۸ را تا حدودی فاسد اما قابل‌قبول و بالای ۱/۵۱ را فاسد عنوان کردند. مطابق نتایج، با اندازه‌گیری مالون‌دی‌آلدئید، شاخص TBA، مانند شاخص پراکسید، در هر دو تیمار با گذشت زمان افزایش یافت. از آنجا که مالون‌دی‌آلدئید از تجزیه هیدروپراکسیدها به دست می‌آید، مقدار آن در روزهای ابتدایی نگهداری پایین است، اما پس از گذشت زمان که مقدار محصولات اولیه اکسیداسیون افزایش پیدا کردند، شروع به تجزیه شدن می‌کنند و مقدار TBA افزایش می‌یابد. افزایش میزان این اسید در طول دوره را می‌توان به اکسیداسیون لیپیدها و تولید ترکیبات فرار در حضور اکسیژن نسبت داد (Chidanandaiah and Sanyal, 2009). کاهش میزان TBA در بعضی از روزهای نگهداری ممکن است به دلیل کاهش هیدروپراکسیدها و واکنش بین مالون‌آلدئید با دیگر مواد باشد که باعث کاهش مقادیر مـالون آلدئید می‌شود و متعاقباً با کاهش TBA همراه است. در پژوهشی که در سال ۲۰۰۷ توسط Okada و Morrissey بر روی بازیافت روغن استخراجی توسط تغییر pH انجام شد، نتایج نشان داد که روغن استخراجی توسط گرما دارای بیشترین میزان TBA است، در حالی که در روغن استخراجی از ضایعات ساردین توسط تغییر pH، کمترین مقدار TBA دیده شد. TBA در جلوگیری از اکسیداسیون روغن ماهی حفظ دمای کم در طول فرآوری ضروری است. به عبارت دیگر، TBA در روغن استخراجی با تغییر pH در طول دوره نگهداری پایین باقی می‌ماند.

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که روغن استخراجی از ضایعات (امعاء و احشاء) ماهی قزل‌آلای رنگین کمان، حاوی مقادیر بالای اسیدهای چرب چند غیراشباعی است. دلیل پایین بودن دو شاخص AI و TI (که حاکی از مناسب بودن مصرف این روغن برای سلامت انسان است) نیز بالا بودن اسیدهای چرب چندغیراشباعی (PUFA) است. البته، همان‌طور که در نتایج بیان شد، محتوای اسیدهای چرب بلندزنجیره خانواده امگا-۳ در روغن استخراجی پایین بود. نوع ضایعات استفاده شده در این تحقیق (امعاء و احشاء) می‌تواند دلیل پائین بودن محتوای اسیدهای چرب بلندزنجیره خانوده امگا-۳ باشد. همچنین، نتایج حاصل از این پژوهش حاکی از این بود که روغن استخراجی توسط تغییر pH مقاومت بالایی در برابر هیدرولیز و اکسیداسیون داشته است. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان نتیجه گرفت که در

روغن استخراجی به روش ISP، تیمار بازی ثبات اکسیداسیونی بیشتری در مقایسه با تیمار اسیدی دارد.

منابع

Abd Rahman, S., Huah, T.S., Nassan, O., Daud, N.M. 1995. Fatty acid composition of some Malaysian freshwater fish. Food Chemistry 54: 45-49.

Aubourg, S.P. 2001. Fluorescence study of the pro-oxidant effect of free fatty acids on marine lipids. Journal of the Science of Food and Agriculture 81: 385-390.

Bakar, J., Zakipour Rahimabadi, E., Che Man, Y.B. 2008. Lipid characteristics in cooked, chill-reheated fillets of Indo-Pacific king mackerel (*Scomberomorous guttatus*). LWT-Food Science and Technology 41: 2144-2150.

Barthet, V.J., Gordon, V., Daun, J.K. 2008. Evaluation of a colorimetric method for measuring the content of FFA in marine and vegetable oils. Food Chemistry 111: 1064-1068.

Ben-Gigirey, B., De Sousa, J.M.V.B., Villa, T.G. Barros-Velazquez, J. 1999. Chemical changes and visual appearance of Albacore tuna as related to frozen storage. Food Chemistry 64: 20-24.

Bimbo, A.P. 1998. Guidelines for characterizing food-grade fish oils. International News on Fats, Oils and Related Mater 9: 473-483.

Cahu, C., Salen, P., de Lorgeril, M. 2004. Farmed and wild fish in the prevention of cardiovascular diseases: Assessing possible differences in lipid nutritional values. Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases 14: 34-41.

Chen, Y.C., Tou, J.C., Jaczynski, J. 2007. Amino acid, fatty acid, and mineral profile of materials recovered from rain bow trout (*Oncorhynchus mykiss*) processing by-products using isoelectric solubilization/precipitation. Food Science 72: 528-536.

Chidanandaiah, K.R.C., Sanyal, M.K. 2009. Effect of sodium alginate coating with preservatives on the quality of meat patties during refrigerated (4 ± 1ºC) storage. Journal of Muscle Foods 20: 275-292.

Egan, H., Kirk, R.S., Sawyer, R. 1997. Pearson's chemical analysis of food (9th edition). Edinburgh, Scotland, Churchill Livingstone, UK. 609-634.

Gehring, C.K., Gigliotti, J.C., Moritz, J.S., Tou, J.C., Jaczynski, J. 2011. Functional and nutritional characteristics of proteins and lipids recovered by isoelectric processing of fish by-products and low-value fish: A review. Food Chemistry 124: 422-431.

Guler, G.O., Kiztanir, B., Aktumsek, A., Citil, O.B., Ozparlak, H. 2008. Determination of the seasonal changes on total fatty acid composition and w3/w6 ratios of carp (*Cyprinus carpio* L.) muscle in Beysehir Lake (Turkey). Food Chemistry 108: 689-694.

Haliloğlu, H.I., Bayir, A., Sirkecioğlu, A.N., Aras, N.M., Atamanalp, M. 2004. Comparison of fatty acid composition in some tissues of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) living in seawater and freshwater. Food Chemistry 86: 55-59.

Harlioğlu, A.G. 2012. Fatty acid composition, fat soluble vitamins and cholesterol content of farmed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Pakistan Journal of Zoology 44: 1013-1019.

Hultin, H.O. 1994. Oxidation of lipids in seafood. In Seafoods: chemistry, processing technology and quality. Shahidi, F., Botta J.R. (Eds.), Blackie Academic and Professional, 49-74.

Hultin, H.O., Kristinsson, H.G., Lanier, T.C., Park, J.W. 2005. Process for recovery of functional protein by pH shift. In: Surimi and surimi seafood. Park, J.W. (Eds.), Boca Raton: Taylor and Francis Group, 107-139.

Hwang, K.T., Regenstein, J.M. 1993. Characteristics of mackerel mince lipid hydrolysis. Food Science 58: 79-83.

Jaczynski, J., Tahergorabi, R. 2015. Chapter 50-Isoelectric processing of seafood products: Amino acid and fatty acid profiles. In Preedy, V.R. 2014. Processing and Impact on Active Components in Food, Academic Press 724P.

Kaya, Y., Turan, H. 2008. Fatty acids composition of anchovy (*Engraulis encrasicolus* L. 1758) oil produced in Sinop-Turkey. Fisheries Sciences 2: 693-697.

Ke, P.J., Cervantes, E., Robles-Martinez, C. 1984. Determination of thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) in fish tissue by an improved distillation spectrophotometric method. Journal of the Science of Food and Agriculture 35: 1248-1254.

Khoddami, A., Ariffin, A.A., Bakar, J., Ghazali, H.M. 2009. Fatty acid profile of the oil extracted from fish waste (head, intestine and liver) (*Sardinella lemuru*). World Applied Sciences Journal 7: 127-131.

Lindsay, R.C. 1991. Flavour of fish. Paper presented at 8th World Congress of Food science and Technology. Toronto, Canada.

Metcalf, I.D., Schmitz, A.A., Pelka, J.R. 1996. Rapid preparation of methyl ester from lipid for gas chromatographic analysis. Analytical Chemistry 318: 514-516.

Okada, T., Morrissey, M.T. 2007. Recovery and characterization of sardine oil extracted by PH adjustment. Journal of Agricultural and Food Chemistry 55: 1808-1813.

Özogul, Y., Özogul, F., Çïçek, E., Polat, A., Kuley, E. 2008. Fat content and fatty acid composition of 34 marine water fish species from the Mediterranean Sea. International Journal of Food Science and Nutrition 60: 1-12.

Pérez-Villarreal, B., Howgate, P. 1991. Deterioration of European hake (*Merluccius merluccius*) during frozen storage. Journal of the Science of Food and Agriculture 55: 455-469.

Petty, H. 2007. Effects of low and high pH on lipid oxidation in Spanish mackerel. A dissertation presented to the graduate school of the University of Florida in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy University of Florida. 163P.

Shahidi, F., Miraliakbari, H. 2004. Omega-3 (n-3) fatty acid in health and disease: part1- cardiovascular disease and cancer. Journal of Medicinal Food 7: 387-401.

Tahergorabi, R., Beamer, S.K., Matak, K.E., Jaczynski, J. 2012. Functional food products made from fish protein isolate recovered with isoelectric solubilization/ precipitation. LWT - Food Science and Technology 48: 89-95.

Tahergorabi, R., Beamer, S., Matak, K.E., Jaczynski, J. 2013. Chemical properties of w-3 fortified gel made of protein isolate recovered with isoelectric solubilisation/precipitation from whole fish. Food Chemistry 139: 777-785.

Ulbricht, T.L.V. Southgate, D.A.T. 1991. Coronary heart disease: Seven

dietary factors. The Lancet 338: 985-992.

Vidya, S.R.G., Srikar, L.N. 1996. Effect of pre-process ice storage on the lipid change of Japanese threadfin bream (*Nemipterus japonicus*) mince during frozen. Asian Fisheries Science 9: 109-114.

Fatty acid profile and oxidation stability of oil extracted from rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) by-product by isoelectric solubilization/precipitation

Farideh Flahatgar Khomairan, Eshagh Zakipour Rahimabadi*, Hanieh Rostamzad

Fisheries Department, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, Guilan, Iran

Received 14 January 2016; accepted 21 June 2016

Abstract

This work was conducted to study the fatty acid profile of oil extracted from rainbow trout by-product by isoelectric solubilization/precipitation and its oxidation stability during 45 days refrigerated storage. After extraction and methylation of extracted oil, fatty acid profile was determined by gas liquid chromatography. Free fatty acid, peroxide value and thiobarbituric acid were measured in 15-day intervals to determine the hydrolytic and oxidation stability during 45 days. Twenty three fatty acids were identified in acidic, basic and control samples. Extraction of oil by acidic and basic Isoelectric solubilization/precipitation affected neither the fatty acid profile nor the content of ling chain fatty acids. n-3/ n-6 ratio were 0.148 and 0.172 in acidic and basic treatments, respectively. Atherogenic index and thrombogenic index in acidic and basic treatments were found to be 0.223 and 0.380, as well as 0.202 and 0.347, respectively. The extracted oils were stable to oxidation during 45-day storage in refrigerator.

Keywords: Isoelectric Solubiliation/precipitation, Fatty acid profile, Oil extraction, Oxidative stability

*Corresponding author: e_zakipour@yahoo.com