



ORIGINAL RESEARCH PAPER

Effect of soybean protein isolated/cellulose nanofibers-based nano-biocomposite film enriched with tannic acid on the shelflife of common carp fillets stored at 4 °C

Ainaz Khodanazary

Department of Fisheries, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran.

ARTICLE INFO

Article History:

Received: 2025/05/14

Revised: 2025/09/22

Accepted: 2025/09/22

Keywords:

Active packaging,
Plant biopolymer,
Nanofiber,
Plant-derived polyphenol,
Fish quality.

*Corresponding author:

✉ khodanazary@yahoo.com

Doi: [10.52547/joc.16.62.2](https://doi.org/10.52547/joc.16.62.2)

ORID:0000-0001-8960-7324



ABSTRACT

Background and Objectives: The objective of this study is *the* estimation of the effect of SPI (soybean protein isolated)-cellulose nanofibers (CNF) in combination with TA (tannic acid) on the quality of common carp (*Cyprinus carpio*) fillets stored at 4±1 °C in terms of quality properties including the bacterial counts, physicochemical characteristics, and sensory scores.

Methods: Therefore, the fillets were randomly subjected to the following treatments by wrapping: SPI, SPI-CNF, and SPI-CNF/TA.

Findings: The TBC and PBC of the SPI-CNF/TA-TiO₂ wrapped sample significantly decreased during storage. *The results demonstrate* that the combination of TA with PSI-CNF solution is an active nanocomposite film with strong antimicrobial effects, exhibiting a synergistic effect between TA. Adding CNF into SPI film caused to decrease of bacterial growth in fillets treated with SPI-CNF. The sensory acceptance score in common carp fillet wrapped with SPI-CNF/TA was better than other samples on days 12, and it was lower the critical score for fishery products.

Conclusion: From this study, it is apparent that SPI-CNF/TA film was the most effective film to preserve fillets.



NUMBER OF TABLES

0



NUMBER OF FIGURES

5



NUMBER OF REFERENCES

46

مقاله پژوهشی

تأثیر فیلم پروتئین سویا ایزوله شده / نانو فیبرهای سلولز محتوی اسید تانیک بر ماندگاری فیله های کپور معمولی نگهداری شده در دمای ۴°C

آی ناز خدانظری*

گروه شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۲/۲۴ تاریخ بازبینی: ۱۴۰۴/۶/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۶/۳۱	پیشینه و اهداف: هدف از این مطالعه برآورد اثر پروتئین سویا ایزوله شده- نانوالیاف سلولز در ترکیب با اسید تانیک بر کیفیت فیله های ماهی کپور معمولی (<i>Cyprinus carpio</i>) در دمای ۴±۱ درجه سانتیگراد از نظر خواص کیفی از جمله تعداد باکتری ها، ویژگی های فیزیکوشیمیایی و ارزیابی حسی نگهداری است. روش ها: بنابراین فیله ها به طور تصادفی تحت تیمارهای زیر بسته بندی شدند: ۱- پروتئین سویا ایزوله شده، ۲- پروتئین سویا ایزوله شده- نانوالیاف سلولز، ۳- پروتئین سویا ایزوله شده- نانوالیاف سلولز/ اسید تانیک. یافته ها: تعداد باکتری های کل و باکتری های سرمادوست نمونه لفاف پیچیده شده با پروتئین سویا ایزوله شده- نانوالیاف سلولز/ اسید تانیک به طور قابل توجهی در طول ذخیره سازی کاهش یافت. نتایج نشان می دهد که ترکیب اسید تانیک با محلول پروتئین سویا ایزوله شده- نانوالیاف سلولز یک فیلم نانوکامپوزیتی فعال با اثرات ضد میکروبی قوی است. افزودن نانوالیاف سلولز به فیلم پروتئین سویا ایزوله شده باعث کاهش رشد باکتری در فیله های تیمار شده با پروتئین سویا ایزوله شده- نانوالیاف سلولز شد. پروتئین سویا ایزوله شده- نانوالیاف سلولز/ اسید تانیک فعالیت ضد باکتریایی بالاتری نسبت به پروتئین سویا ایزوله شده- نانوالیاف سلولز/ اسید تانیک نشان داد. امتیاز پذیرش حسی در فیله ماهی کپور معمولی پیچیده شده با پروتئین سویا ایزوله شده- نانوالیاف سلولز/ اسید تانیک بهتر از نمونه های دیگر در روز ۱۲ بود و امتیاز بحرانی برای محصولات شیلات کمتر بود. نتیجه گیری: از این مطالعه، مشخص شد که فیلم پروتئین سویا ایزوله شده- نانوالیاف سلولز/ اسید تانیک موثرترین فیلم برای حفظ فیله بود.
واژگان کلیدی: بسته بندی فعال، بیوپلیمر گیاهی، نانوفیبر، پلی فنول مشتقات گیاهی، کیفیت ماهی.	
*نویسنده مسئول ✉ khodanazary@yahoo.com Doi: 10.52547/joc.16.62.2 ORID:0000-0001-8960-7324	

مقدمه

اخيراً، علاقه به پلیمرهای زیستی مبتنی بر پروتئین به دلیل ویژگی‌های منحصر به فردی مانند سازگاری با محیط زیست، ویژگی ممانعت مناسب گاز و امکانات ترکیبی تشدید شده است [۱]. در میان آنها، پروتئین سویا ایزوله یکی از پروتئین‌های گیاهی با کیفیت بالا (S (Bv) -کنگلپسینین) و S۱۱ (گلیسین)) است [۲]، که معمولاً حاوی بیش از ۸۵ درصد پروتئین (بر اساس خشک) است. پروتئین سویا ایزوله از محصول جانبی صنعت روغن سویا به دست آمد [۳]. پروتئین سویا ایزوله مزایایی مانند در دسترس بودن، فراوانی و هزینه مناسب دارد. پروتئین سویا ایزوله می‌تواند جایگزین پروتئین‌های حیوانی به عنوان ماده خام برای تولید فیلم‌های مبتنی بر پروتئین در بسته بندی مواد غذایی شود [۴]. این ماده به دلیل خواص مطلوب تشکیل فیلم از جمله شفافیت نوری عالی، با موفقیت برای افزایش ماندگاری مواد غذایی فاسد شدنی استفاده شده است. با این حال، کاربرد فیلم پروتئین سویا ایزوله به دلیل ویژگی‌های آب دوستی آن (وجود اسیدهای آمینه قطبی)، که منجر به خواص مکانیکی ناکافی (مانند استحکام کششی و انعطاف پذیری) و همچنین حساسیت بالای فیلم‌های پروتئین سویا ایزوله به آب می‌شود، محدود است [۳ و ۵]. علاوه بر این، فیلم پروتئین سویا ایزوله به تنهایی اثرات ضد باکتریایی ندارد [۶ و ۷]. بنابراین، نمی‌توان از آن به طور مستقیم در مواد فیلم استفاده کرد. مواد جدید (مانند مواد آبدوست و آبگریز) می‌توانند به بهبود خواص مکانیکی و بیولوژیکی، مقاومت در برابر رطوبت و سایر خواص فیزیکی فیلم فعال مبتنی بر پروتئین سویا ایزوله کمک کنند [۷ و ۸]. افزودن نانومواد (با ابعاد کمتر از ۱۰۰ نانومتر)، به نام بیونانو کامپوزیت، به فیلم پلیمری زیستی می‌تواند ویژگی‌های مواد بسته بندی مانند خواص مکانیکی، حرارتی و مانع برای افزایش ماندگاری مواد غذایی را افزایش دهد [۹]. طبق مطالعات، مواد نانو ذرات با گروه‌های عاملی زمینه پلیمری با پیوندهای هیدروژنی یا کووالانسی برهمکنش می‌کنند که منجر به افزایش خواص فیزیکی بسته بندی فعال و جلوگیری از فساد و هدر رفتن سریع مواد غذایی می‌شود [۱۰]. علاوه بر این، نانوذراتی مانند نانوالیاف سلولزی می‌توانند روند تخریب پلیمرهای زیستی را کاهش دهند [۱۱ و ۱۲]. نانوذرات سلولز به عنوان افزودنی مواد غذایی در ترکیب با پلیمرهای زیستی که فیلم‌ها/پوشش‌های بیونانو کامپوزیت را تشکیل می‌دهند، معرفی شده است. نانوالیاف سلولزی‌ها (۵ تا ۱۰ نانومتر) به عنوان یک نانوپرکننده آلی از واحد سلولز، به دست آمده از چوب، کتان، باکتری‌ها و ضایعات کشاورزی هستند [۲ و ۱۳]. نانوالیاف سلولزی‌ها خواص منحصر به فردی مانند چگالی کم، مساحت سطح بزرگ، استحکام بالا، خواص نوری، خواص الکتریکی، و فعالیت آنتی اکسیدانی و ضد میکروبی دارند [۱۴]. تایید شده است که یک اثر هم افزایی بین نانوالیاف سلولزی و بیوپلیمرهای مختلف وجود دارد که باعث افزایش عملکرد لایه‌های کامپوزیت (مانند ویژگی‌های مانع و ضخامت لایه) می‌شود [۱۵]. با توجه به تحقیقت گذشته، نانوالیاف سلولزی معمولاً برای تقویت خواص مکانیکی فیلم‌های مبتنی بر پروتئین استفاده می‌شود [۱۶]. González و همکاران (۲۰۱۹) بیان کرد که استفاده از یک فیلم

نانوکامپوزیت پروتئین سویا ایزوله- نانوالیاف سلولزی می‌تواند خواص مکانیکی را بهبود بخشد [۱۷]. مقدار نانوالیاف سلولزی در صنایع غذایی هنوز توسط سازمان غذا و داروی ایالات متحده در نظر گرفته نمی‌شود [۱۳].

اسید تانیک، به عنوان یک پلی فنل مشتق شده از گیاه، حاوی پلی فنل هیدروکسیل و اسید کربوکسیلیک شامل پنج گروه کاتکول و پنج گروه گالول است [۱۸]، که منجر به تولید محلول با اسید ضعیف می‌شود. تانیک اسید، که از چای سبز و بافت‌های گیاهی تهیه می‌شود، می‌تواند با پلیمرهای زیستی مبتنی بر پروتئین از طریق برهمکنش‌های آبگریز/هیدروژن یا پیوندهای C-N کووالانسی ترکیب شود [۱۹]. میزان pH در فیلم‌های مبتنی بر پلیمرهای زیستی حاوی تانیک اسید بر فرآیند اتصال عرضی مولکول‌های تانیک اسید و بیوپلیمر تأثیر می‌گذارد [۲۰]. طبق سازمان غذا و دارو (FDA)، اسید تانیک به عنوان یک افزودنی غذایی در محصولات غذایی ایمن هستند [۲۱]. تانیک اسید به طور موثر خواص مکانیکی و خواص عملکردی (مانند فعالیت‌های آنتی اکسیدانی و ضد باکتریایی) را به دلیل اتصال عرضی کووالانسی بهبود می‌بخشد [۱۸]. اگرچه، برخی از محققان معتقد بودند که تانیک اسید خواص مکانیکی را به طور قابل توجهی بهبود نمی‌بخشد و مقدار اضافی تانیک اسید ممکن است خواص مکانیکی پلیمر را بدتر کند [۲۲]. Yong و همکاران (۲۰۲۳) و Maqsood and Benjakul (۲۰۱۰) دریافتند که افزودن تانیک اسید به فیلم‌های بسته بندی کیفیت گوشت را با به تاخیر انداختن سرعت اکسیداسیون افزایش می‌دهد [۲۳ و ۲۴]. رفتار تقویتی پلیمرهای زیستی و تانیک اسید در فیلم‌های بسته بندی برای نگهداری غذاهای دریایی ناشناخته باقی مانده است. بنابراین، این مطالعه با هدف بررسی تأثیر لایه‌های نانوبیوکامپوزیت مبتنی بر نانوالیاف بر پایه نانوالیاف سلولزی و پروتئین سویا همراه با اسید تانیک بر ویژگی‌های کیفی و آنالیز حسی فیله‌های ماهی کپور معمولی سرد شده انجام شد.

روش پژوهش

تهیه فیله ماهی

ماهی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) تازه به صورت تازه از بازارچه ماهی خریداری شد. نمونه‌های ماهی و یخ به نسبت ۱ به ۲ (وزنی/وزنی) با جعبه‌های یونولیتی فوراً به آزمایشگاه فرآوری واقع در دانشگاه منتقل شد. سپس با آب شهری شستشوی اولیه صورت گرفت و مجدداً با آب مقطر نمونه‌ها شستشو شدند. ماهی‌ها، سرزنی و تخلیه امعاء و احشاء گردیدند. از هر ماهی فیله تهیه شد. فیله ماهی‌ها با آب سرد شستشو داده شدند. فیله‌های آماده سازی شده به مدت ۱۲ روز در یخچال (دمای 4 ± 1 درجه سانتی‌گراد) نگهداری می‌شود و در فواصل زمانی ۳ روز یک بار مورد ارزیابی میکروبی (بار باکتریایی کل و بار باکتریایی سرمادوست)، فاکتورهای فیزیکوشیمیایی (تیوباربیتوریک اسید (TBA)، بازهای از ته فرار (TVBN) و pH) و ارزیابی حسی قرار گرفتند.

در ۱۰ درجه سانتیگراد قرار داده شد. شمارش کلنی‌ها بر مبنای $\log_{10}$ cfu/g بیان گردید [۲۶].

اندازه‌گیری بازهای از ته فرار

اندازه‌گیری بازهای از ته فرار به روش کلدال و با تیتراسیون عصاره بدست آمده از آن انجام خواهد گرفت. بدین منظور ۱۰ گرم نمونه به همراه ۲ گرم اکسید منیزیم با افزودن ۵۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر به بالن کلدال متصل شد و عصاره مورد نظر به محلول متشکل از اسید بوریک ۲٪ و ۱-۲ قطره متیل رد به عنوان شاخص وارد شد. محلول زرد رنگ حاصله با اسید سولفوریک تا حاصل شدن رنگ ارغوانی تیتراژ شد و به صورت میلی‌گرم نیتروژن در ۱۰۰ گرم نمونه ماهی بیان شد [۲۷] (Goulas and Kontominas, 2005). میزان بازهای از ته فرار از طریق فرمول ذیل محاسبه گردید.

حجم اسید سولفوریک مصرفی $\times 14 =$ بازهای از ته فرار

اندازه‌گیری تیوباربیتوریک اسید

این شاخص طبق روش Siripatrawan and Noipha (۲۰۱۲) با افزودن ۹۷/۵ میلی‌لیتر آب مقطر و ۲/۵ میلی‌لیتر اسیدکلریدریک ۴ نرمال به ۱۰ گرم نمونه هموژن شده اندازه‌گیری خواهد شد [۲۸]. ۵ میلی‌لیتر از مایع حاصل از تقطیر این مخلوط به ۵ میلی‌لیتر معرف تیوباربیتوریک اسید افزوده و به مدت ۳۵ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه قرار داده خواهد شد. پس از سرد شدن میزان جذب مایع صورتی حاصل در طول موج ۵۳۸ نانومتر در دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری خواهد شد. عدد جذب خوانده شده در ثابت ۷/۸ ضرب شد تا میزان تیوباربیتوریک اسید نمونه بدست آید. میزان تیوباربیتوریک اسید بصورت میلی‌گرم مالون آلدهید اکیوالان بر کیلوگرم نمونه بیان خواهد شد.

$$TBA_{\text{value}} = 7/8 \text{ Abs}_{538}$$

$$Abs_{538} = \text{میزان جذب در طول موج } 538 \text{ نانومتر}$$

اندازه‌گیری شاخص pH

بدین منظور ۵ گرم از نمونه به مدت ۱ دقیقه با ۴۵ میلی‌لیتر آب مقطر همگن شده و میزان pH آن با دستگاه pH سنج (Metrohm) اندازه‌گیری شد.

ارزیابی حسی

ارزیابی حسی با ۳۲ عضو آموزش دیده تعیین شد (۱۵ مرد و ۱۷ زن، ۲۶ تا ۳۳ سال) قبلاً آموزش دیده بر اساس ISO 8586. برای تجزیه و تحلیل

آماده سازی نمونه

فیلم‌های مبتنی بر پروتئین سویا ایزوله- نانوالیاف سلولزی بر اساس Yong و همکاران در سال ۲۰۲۳ و Khaledian و همکاران (۲۰۱۹) با تغییرات انجام شدند [۲۳ و ۲۵]. محلول پروتئین سویا ایزوله (2% w/v) با مخلوط کردن با آب مقطر و هم زدن به مدت ۲ ساعت در دمای اتاق تهیه شد و سپس به مدت ۳۰ دقیقه روی همزن مغناطیسی در دمای ۸۰ درجه سانتیگراد قرار گرفت. گلیسرول به عنوان یک نرم کننده با غلظت ۵۰ درصد وزنی اضافه شد (پروتئین سویا ایزوله/گلیسرول: ۵۰/۵۰ (وزنی/وزنی)). در همان زمان، نانوالیاف سلولزی (0.1 % w/v) با افزودن آب مقطر استریل تهیه شد. سپس دو محلول به نسبت ۱:۱ مخلوط شدند.

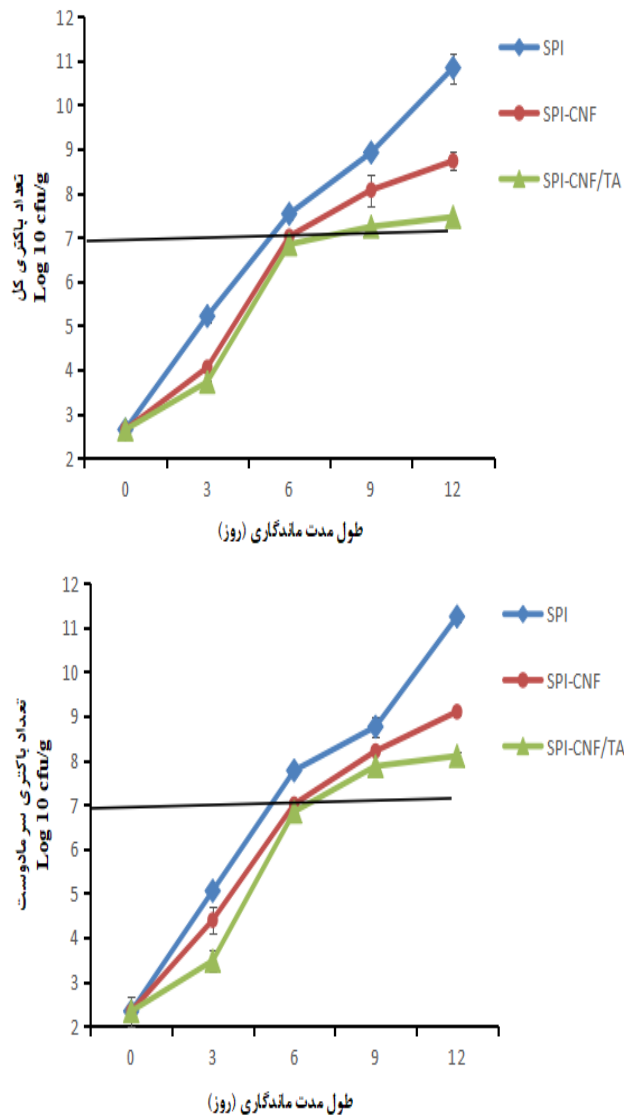
تانیک اسید (۵ میلی گرم) به طور جداگانه در ۱ میلی لیتر آب مقطر حل می شود تا غلظت نهایی ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم به دست آید و pH توسط ۲ مولار NaOH به حالت خنثی تنظیم خواهد شد. ۱٪ تانیک اسید به طور جداگانه تهیه و به مخلوط اضافه خواهد شد. محلول کامپوزیت حباب ها را برداشته و به طور یکنواخت در یک ظرف تفلون پخش خواهد می شود. برای به دست آوردن فیلم های پروتئین سویا ایزوله (SPI)، پروتئین سویا ایزوله- نانوالیاف سلولزی (SPI-CNF) و پروتئین سویا ایزوله- نانوالیاف سلولزی/ اسید تانیک (SPI-CNF/TA) در دمای ۳۰ درجه سانتی گراد با رطوبت نسبی ۵۰ درصد به مدت ۲۴ ساعت خشک خواهد شد. در نهایت، فیلم ها از صفحه جدا خواهد شدند. تیمارها شامل (۱) SPI، (۲) SPI-CNF و (۳) SPI-CNF/TA بود. تمامی نمونه ها در کیسه های پلی اتیلن قرار خواهد گرفتند و در دمای 4 ± 1 درجه سانتی گراد به مدت ۱۲ روز نگهداری خواهد شدند. تجزیه و تحلیل شیمیایی، میکروبیولوژیکی و حسی در فواصل ۳ روزه برای تعیین کیفیت کلی ماهی انجام شد. سه تکرار در هر گروه در هر زمان نمونه برداری برای آنالیزهای مختلف استفاده خواهد شد.

تمام غلظت های استفاده شده در فرمول فیلم بر اساس آزمایش های حسی اولیه (طعم، بو، رنگ و قابلیت پذیرش کلی) و آنالیز باکتریایی خواهد بود که در بین آن ها، غلظت 0.1٪ نانوالیاف سلولزی و 1٪ اسید تانیک فیلم کارآمد و طعم دلپذیر با آنها مرتبط خواهد بود.

آزمون میکروبی نمونه‌ها

بار باکتریایی نمونه‌ها با هموژن کردن ۱۰ گرم نمونه در ۹۰ میلی‌لیتر محلول ۰.۹٪ کلرید سدیم در شرایط استریل آغاز شد. از این محلول جهت تهیه رقت‌های متوالی استفاده شد. کشت باکتریایی مورد نظر با ریختن میزان مشخصی از نسبت‌های بدست آمده در پلیت‌های یکبار مصرف استریل و ریختن محیط کشت آگار بر آن صورت گرفت. برای شمارش کلنی‌های باکتریایی کل پلیت‌های تهیه شده به مدت ۲ روز در دمای ۳۷ درجه سانتیگراد و برای باکتری‌های سرمادوست به مدت ۷ روز

فیلم پروتئین سویا ایزوله شده- نانوالیاف سلولز، نیاز به اصلاح شیمیایی [۳۲] یا پیوند با سایر ترکیبات مانند پلی فنل ها است [۳۳]. تفاوت معنی داری بین فیلم پروتئین سویا ایزوله شده- نانوالیاف سلولز و نمونه های لفاف پیچیده شده با پروتئین سویا ایزوله شده- نانوالیاف سلولز همراه با اسید تانیک روی تعداد باکتری های کل و سرمادوست وجود دارد.



شکل ۱- تغییرات تعداد باکتری های کل و سرمادوست فیله ماهی کپور معمولی تیمار شده طی نگهداری در یخچال

تغییرات میزان بازهای از ته فرار

بازهای از ته فرار، به عنوان شاخصی از تازگی غذاهای دریایی، برای تخمین کیفیت ماهی خام استفاده می شود که نشان دهنده میزان فساد گوشت است [۳۴]. تخریب پروتئین ها تحت تأثیر باکتری ها و آنزیم های داخلی

حسی، از مقیاس لذتجویی توصیفی (descriptive hedonic scale) استفاده شد.

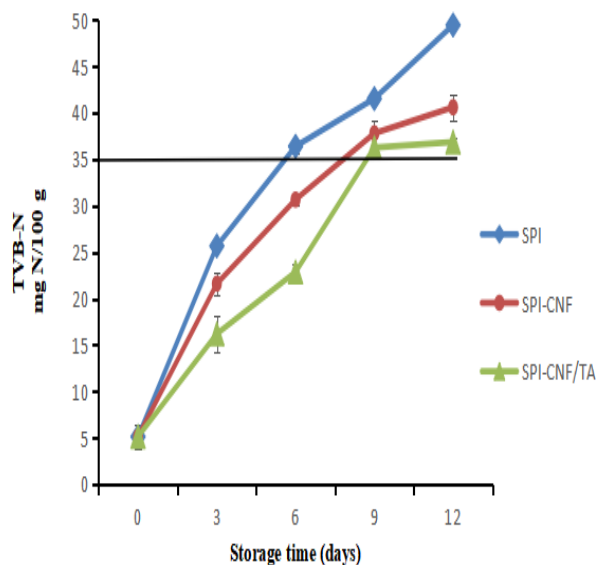
محاسبات آماری

تحقیق در قالب طرح کاملاً تصادفی با آزمون واریانس یک طرفه (ANOVA) بررسی شده و نتایج بصورت میانگین $\pm$ انحراف معیار بیان شد. اختلاف بین تیمارها، زمان ها و نیز اثر متقابل آنها با آزمون دانکن در سطح معنی داری $p < 0.05$ با استفاده از نرم افزار آنالیز آماری SPSS مورد مقایسه قرار گرفت.

نتایج و بحث

تغییرات باکتریولوژیک

برای ارزیابی فساد مواد غذایی از شمارش میکروارگانیسم ها استفاده می شود. تعداد باکتری های کل و باکتری های سرمادوست فیله ماهی تیمار شده در دمای ۴ درجه سانتی گراد به مدت ۱۲ روز در شکل ۱ نشان داده شده است. تعداد اولیه باکتری های کل و باکتری های سرمادوست در همه نمونه ها به ترتیب $\log_{10}$ (CFU/g) ۲/۶۴ و $\log_{10}$ (CFU/g) ۲/۳۳ بود. نتیجه مشابه باکتری های اولیه در این مطالعه توسط Ali noori و همکاران در سال ۲۰۱۸ گزارش شده است. تعداد باکتری های کل تمام نمونه ها به طور معنی داری ($p < 0.05$) در طول زمان نگهداری افزایش یافت و به $\log_{10}$ (CFU/g) ۷/۴۶، ۸/۷۳، ۱۰/۸۴، پروتئین سویا ایزوله شده- نانوالیاف سلولز و پروتئین سویا ایزوله شده- نانوالیاف سلولز / اسید تانیک در انتهای دوره نگهداری رسیدند. سرعت افزایش باکتری های کل و سرمادوست در نمونه های پروتئین سویا ایزوله شده در مقایسه با نمونه های تیمار شده سریعتر است که نشان دهنده تأثیر کم یا بدون تأثیر نمونه های لفاف پیچیده شده با پروتئین سویا ایزوله شده در کاهش رشد باکتری ها است. نتایج مشابهی توسط Rani and Kumar (2019) گزارش شده است [۷]. اگرچه، فیلم پروتئین سویا ایزوله شده می تواند به عنوان یک فیلم نیمه تراوا عمل کند و در دسترس بودن اکسیژن را در سطح نمونه های فیله محدود کند و روند رشد باکتری را اندکی کاهش دهد. افزودن نانوالیاف سلولز در فیلم پروتئین سویا ایزوله شده به طور قابل توجهی تعداد باکتری های کل و سرمادوست را در مقایسه با فیلم پروتئین سویا ایزوله شده به تنهایی کاهش داد. این نشان می دهد که فیلم پروتئین سویا ایزوله شده- نانوالیاف سلولز به دلیل توانایی خوب در تشکیل فیلم، مانع مناسبی در برابر اکسیژن ایجاد می کند. به خوبی مستند شده است که نانوالیاف سلولز دارای خواص ضد باکتریایی خوب [۲۹] با اتصال لایه پیپتیدوگلیکان، تخریب دیواره سلولی و اختلال در بیوسنتز طبیعی سلول است. همچنین نانوالیاف سلولز یک پیش ماده پایان ناپذیر برای تولید مواد ضد باکتری در نظر گرفته می شود [۳۰]. اگرچه Yavari Maroufi و همکاران (۲۰۲۳) معتقد بودند که نانوالیاف سلولز اثر ضد باکتریایی خاصی را نشان نمی دهد [۳۱]. به منظور افزایش اثر ضد باکتریایی



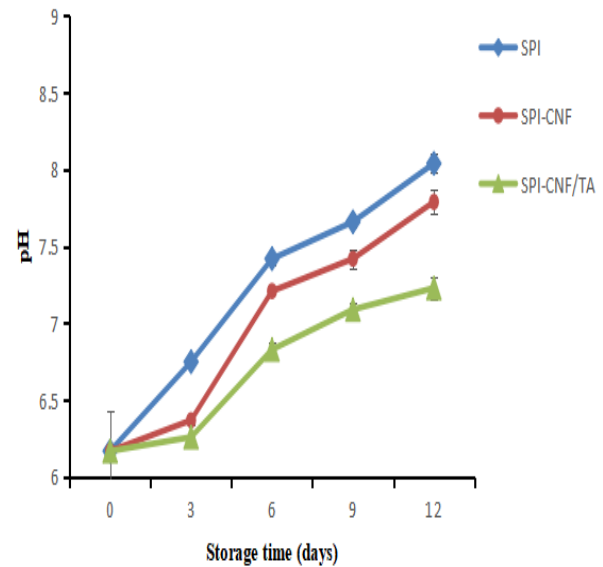
شکل ۲- تغییرات مقدار بازهای ازته فرار فیله ماهی کپور معمولی تیمار شده طی نگهداری در یخچال

تغییرات میزان pH

تغییرات در محتوای pH، به عنوان یک شاخص فساد در محصولات شیلات، فیله ماهی کپور معمولی در طول نگهداری در یخچال به مدت ۱۲ روز در شکل ۳ نشان داده شده است. محتوای pH اولیه ۶/۱۷ بود که در محدوده محتوای pH نرمال بود [۳۹]. محتوای pH فیله کپور معمولی تیمار شده با زمان نگهداری طولانی مدت روند افزایشی را نشان داد. بر اساس یافته‌های ما، مقادیر pH به‌طور معنی‌داری با محتوای TVB-N و جمعیت باکتری‌های آنها مطابقت داشت. میزان افزایش مقدار pH در فیلم‌های پروتئین سویا ایزوله شده و پروتئین سویا ایزوله شده- نانوالیاف سلولز به طور قابل توجهی بیشتر از سایر نمونه‌های تیمار شده بود. PH بالاتر فیلم‌های پروتئین سویا ایزوله شده را می‌توان حداقل تا حدی به pH قلیایی پراکندگی‌های فیلم‌ها نسبت داد که برای ترویج حل شدن زنجیره‌های پلی پپتیدی استفاده می‌شود [۴۰]. در بین تمام تیمارها، نمونه‌های تیمار شده با پروتئین سویا ایزوله شده- نانوالیاف سلولز/ اسید تانیک کمترین مقدار pH را داشتند. بنابراین، تاخیر در افزایش محتوای pH در فیلم نانوکامپوزیتی حاوی TA را می‌توان به اثرات ضد میکروبی هم افزایی این افزودنی‌ها در برابر رشد باکتری‌ها و مهار تجزیه پروتئین‌ها و سایر ترکیبات نیتروژن دار نسبت داد. تخریب باکتریولوژیکی پروتئین با تولید مواد قلیایی مانند آمونیاک، تری متیل آمین و ترکیبات بازی فرار و تجزیه پروتئین ماهی تحت اکسیژن کافی باعث افزایش محتوای pH می‌شود [۴۱ و ۴۲]. در همان زمان، تجمع ترکیبات نیتروژن قلیایی و آمین‌های فرار منجر به افزایش مقدار pH شد که منجر به تکثیر بیشتر میکروارگانیسم‌ها و در نتیجه تسریع فساد ماهی کپور معمولی شد.

باعث تولید ترکیبات نیتروژن قلیایی از جمله آمونیاک، مونو اتیل آمین، دی متیل آمین و تری متیل آمین می‌شود [۳۵] (Alizadeh-Sani et al., 2020) که در نتیجه طعم و بوهای نامطبوعی ایجاد می‌شود. تغییرات مقدار بازهای ازته فرار همه نمونه‌ها در طول کل زمان ذخیره سازی در شکل ۲ نشان داده شده است. میزان اولیه بازهای ازته فرار در همه نمونه‌های تیمار شده، ۵/۱۳ میلی گرم نیتروژن در ۱۰۰ گرم نمونه بود که نشان دهنده کیفیت قابل قبول ماهی خام است. طبق گفته Kakaei and Shahbazi (۲۰۱۶)، محدوده توصیه شده بازهای ازته فرار در ماهی تازه بین ۵ تا ۲۰ میلی گرم نیتروژن در ۱۰۰ گرم نمونه است [۳۶]. مقدار بازهای ازته فرار فیلم‌های پروتئین سویا ایزوله شده، پروتئین سویا ایزوله شده- نانوالیاف سلولز و پروتئین سویا ایزوله شده- نانوالیاف سلولز/ اسید تانیک در روز دوازدهم به ترتیب ۴۹/۴۶، ۴۰/۶۰ و ۳۶/۸۶ میلی گرم نیتروژن در ۱۰۰ گرم نمونه افزایش یافت، که بیشترین میزان بازهای ازته فرار در فیلم‌های تیمار شده با پروتئین سویا ایزوله شده مشاهده شد. میزان بازهای ازته فرار بین فیلم مبتنی بر پروتئین سویا ایزوله شده و فیلم پروتئین سویا ایزوله شده- نانوالیاف سلولز تفاوت معنی‌داری وجود داشت. در تأیید این نتیجه، Shahbazi and Shavisi (۲۰۱۹)، میزان بازهای ازته فرار کمتری را در تیمارهای فیله ماهی کپور نقره با پوشش آلزینات سدیم حاوی نانوالیاف سلولز در مقایسه با گروه شاهد یافتند [۳۷]. در مقایسه با فیلم پروتئین سویا ایزوله شده- نانوالیاف سلولز، فیلم پروتئین سویا ایزوله شده- نانوالیاف سلولز مبتنی بر اسید تانیک افزایش میزان بازهای ازته فرار را در روزهای نهم و دوازدهم به تاخیر انداخت. این تأخیر را می‌توان به تأثیر اسید تانیک نسبت داد که بیشترین اثر بازدارندگی را در تأخیر اکسیداتیو دامیناسیون ترکیبات نیتروژنی غیر پروتئینی فیله‌های ماهی کپور معمولی با اثر میکروبی ایجاد کرد. Yong و همکاران (۲۰۲۳) گزارش داد که افزودن اسید تانیک در ماتریس پروتئین سویا ایزوله شده- نانوالیاف سل به طور قابل توجهی میزان بازهای ازته فرار گوشت گاو را کاهش داد [۲۳]. با توجه به سطوح قابل قبول بازهای ازته فرار در غذاهای دریایی (۲۰-۳۰ میلی گرم نیتروژن در ۱۰۰ گرم نمونه) [۳۸]، بهترین دوره نگهداری برای فیله ماهی کپور معمولی تیمار شده با فیلم پروتئین سویا ایزوله شده- نانوالیاف سلولز و فیلم پروتئین سویا ایزوله شده- نانوالیاف سلولز SPI-CNF، ۶ روز بود، در حالی که پروتئین سویا ایزوله شده- نانوالیاف سلولز مبتنی بر اسید تانیک فیله‌های بسته بندی شده در روز نهم دوره نگهداری به این حد رسیدند که نشان دهنده تاخیر در فساد میکروبی و شیمیایی است.

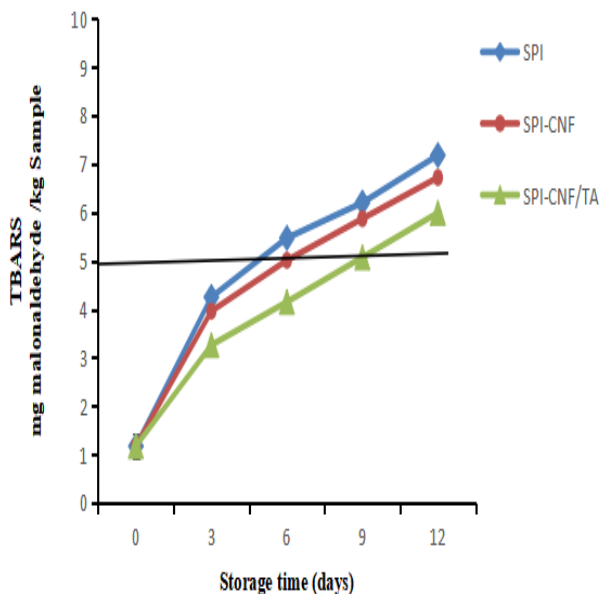
درک نحوه دقیق عملکرد آن مورد نیاز است. این نتایج با نتایج Khaledian و همکاران (۲۰۱۹) همخوانی دارند که گزارش داد که پوشش نانوالیاف سلولز ترکیب شده با اسانس زنجبیل و اسید سیتریک در به تاخیر انداختن تولید محصولات اکسیداسیون لیپید اولیه در مرغ کباب آماده برای طبخ در دمای 4 ± 1 درجه سانتیگراد به مدت ۱۰ روز موثر است [۲۵]. با این حال، Luzzi و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد که افزودن نانوالیاف سلولز هیچ تأثیری بر خاصیت آنتی اکسیدانی یک فیلم زیست تخریب پذیر نشان نداد [۱۱]. میانگین مقدار تیوباربیتوریک اسید در نمونه‌های تیمار شده نشان داد که پروتئین سویا ایزوله شده- نانوالیاف سلولز به‌طور معنی‌داری کمتر از نمونه‌های تیمار شده با که پروتئین سویا ایزوله شده- نانوالیاف سلولز مبتنی بر اسید تانیک بود. بنابراین، این نتایج نشان می‌دهد که فیلم که پروتئین سویا ایزوله شده- نانوالیاف سلولز مبتنی بر اسید تانیک نسبت به فیلم که پروتئین سویا ایزوله شده- نانوالیاف سلولز برای کند کردن مقدار تیوباربیتوریک اسید فیلدها مؤثرتر بود.



شکل ۳- تغییرات مقدار pH فیله ماهی کپور معمولی تیمار شده طی نگهداری در یخچال

تغییرات میزان تیوباربیتوریک اسید

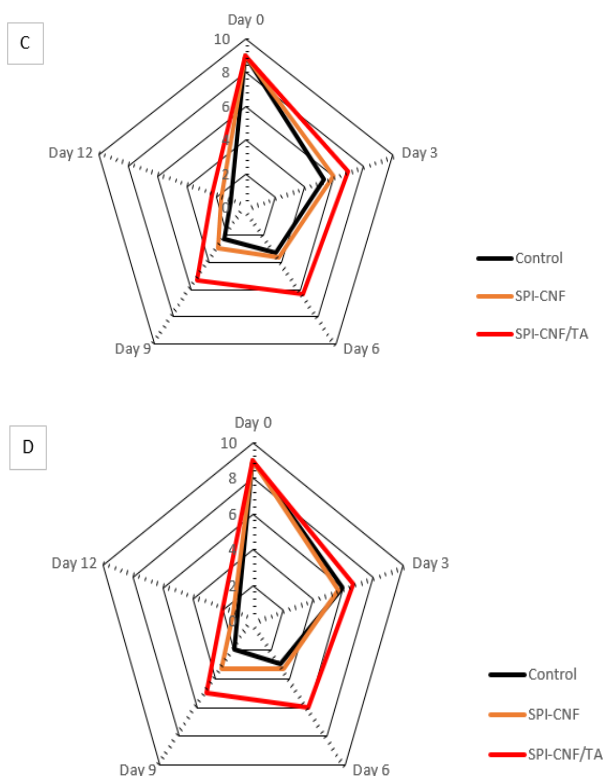
تیوباربیتوریک اسید به عنوان شاخص‌هایی برای وضعیت روغن‌ها و چربی‌های غیر اشباع، میزان محصولات ثانویه اسیدهای چرب غیراشباع (مالون دی آلدئید (MDA)) فیله ماهی را نشان می‌دهند. تغییرات در شاخص تیوباربیتوریک فیله‌های تیمار شده در طول نگهداری در یخچال در شکل ۴ ارائه شده است. افزایش مقدار تیوباربیتوریک اسید در تمام نمونه‌ها در طی ۱۲ روز نگهداری مشاهده شد. بر اساس این مطالعه، میزان تیوباربیتوریک اسید برای فیله تیمار شده با پروتئین سویا ایزوله شده، پروتئین سویا ایزوله شده- نانوالیاف سلولز و پروتئین سویا ایزوله شده- نانوالیاف سلولز/ اسید تانیک به ترتیب ۷/۱۸، ۶/۷۲ و ۵/۹۹ میلی گرم مالون دی آلدئید بر کیلوگرم نمونه در روز دوازدهم بود. در بین تمام تیمارها، نمونه‌های تیمار شده با پروتئین سویا ایزوله شده بالاترین مقادیر تیوباربیتوریک اسید را داشتند. Yu و همکاران (۲۰۱۸) [۴] و Wang و همکاران (۲۰۱۶) [۴۳] نشان دادند که پروتئین سویا ایزوله شده می‌تواند توانایی آنتی اکسیدانی ضعیفی را نشان دهد. اگرچه، فیلم مبتنی بر پروتئین سویا ایزوله شده یک مانع عالی برای نفوذ اکسیژن نشان می‌دهد و فیلم پروتئین سویا ایزوله شده که مستقیماً روی سطح فیله ماهی اعمال می‌شود ممکن است به عنوان مانعی بین گوشت ماهی و اطراف آن عمل کند، بنابراین انتشار اکسیژن به سطح گوشت ماهی را به تاخیر می‌اندازد. نرخ افزایش تیوباربیتوریک اسید در نمونه‌های تیمار شده با پروتئین سویا ایزوله شده- نانوالیاف سلولز به طور قابل توجهی کمتر از فیلم مبتنی بر پروتئین سویا ایزوله شده باقی ماند. فیلم نانوالیاف سلولز دارای فعالیت آنتی اکسیدانی بود [۳۳]. ترکیب نانوالیاف سلولز ممکن است آزادسازی اجزای پروتئین را از فیلم مبتنی بر پروتئین سویا افزایش دهد [۴] و بنابراین ظرفیت آنتی اکسیدانی فیلم را بهبود بخشد. مکانیسم آنتی اکسیدانی نانوالیاف سلولز مبهم است و مطالعات بیشتری برای



شکل ۴- تغییرات مقدار تیوباربیتوریک اسید کپور معمولی تیمار شده طی نگهداری در یخچال

ارزیابی حسی

اسید تانیک دارای طعم بارز است و هنگامی که به مقدار زیاد اضافه شود اثرات حسی منفی ایجاد می‌کند [۴۴]. در آزمایش اولیه ما، حد قابل قبول اسید تانیک مورد استفاده در فیله ماهی کپور معمولی ۱٪ (w/v) بود که توسط پانل حسی بررسی شد. نمرات ویژگی‌های حسی همه نمونه‌ها از جمله: بو، رنگ، بافت و مقبولیت کلی، در طول زمان ذخیره سازی کاهش یافت (شکل ۵). یک مقیاس لذت ۹ درجه ای برای سنجش ویژگی‌های حسی استفاده شد [۴۵]. در روز صفر، همه نمونه‌ها با نمره ۹ شروع شدند.



شکل ۵- تغییرات ارزیابی حسی فیله ماهی کپور معمولی تیمار شده طی نگهداری در یخچال

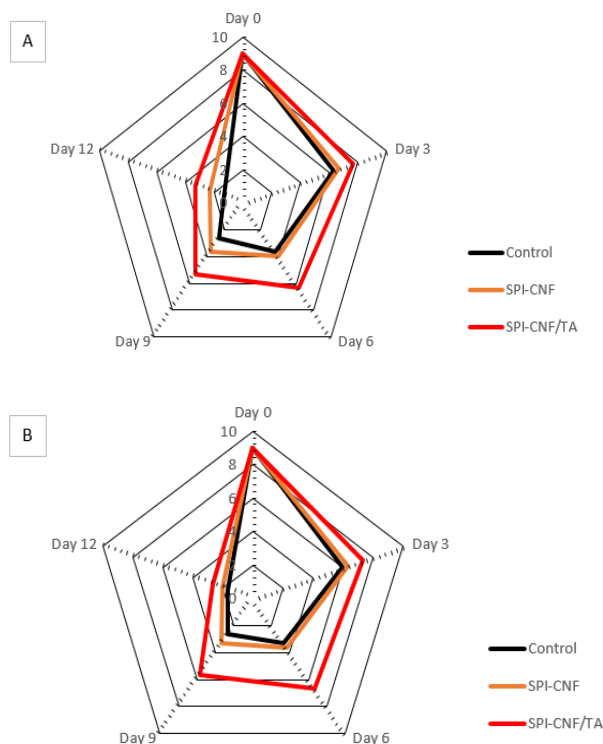
تعارض منافع

«هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.»

منابع

- [1] Insaward, A., Duangmal, K., Mahawanich, T., 2015. Mechanical, optical, and barrier properties of soy protein film as affected by phenolic acid addition. *J. Agric. Food Chem.* 63, 9421–9426.
- [2] W. Qi, X. Tong, M. Wang, S. Liu, J. Cheng, H. Wang, Impact of soybean protein isolate concentration on chitosan-cellulose nanofiber edible films: Focus on structure and properties. *Int. J. Biol. Macromol.* 255, 128185 (2024).
- [3] Y. Han, M. Yu, L. Wang, Preparation and characterization of antioxidant soy protein isolate films incorporating licorice residue extract. *Food Hydrocoll.* 75, 13–21 (2018).
- [4] Z. Yu, L. Sun, W. Wang, W. Zeng, A. Mustapha, M. Lin, Soy protein-based films incorporated with cellulose nanocrystals and pine needle extract for active packaging. *Ind. Crops Prod.* 112, 412–419 (2018).
- [5] A. Gennadios, A.H. Brandenburg, C.L. Weller, R.F. Testin, Effect of pH on properties of wheat gluten and soy protein isolate films. *J. Agri. Food Chem.* 41, 1835–1839 (1993).

در بین نمونه‌های مختلف تیمار شده با پروتئین سویا ایزوله شده- نانوالیاف سلولز/ اسید تانیک-SPI-CNF/TA-TiO₂، نمرات تمام ویژگی‌های حسی طی ۳ روز نگهداری در یخچال تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. اگرچه پس از ۶ روز نگهداری تفاوت معنی‌داری وجود داشت. فیله‌های تیمار شده با پروتئین سویا ایزوله شده- نانوالیاف سلولز/ اسید تانیک بالاترین امتیاز را نسبت به سایر نمونه‌های تیمار شده در طول دوره ذخیره‌سازی به نمایش گذاشتند ($P < 0.05$). این می‌تواند با فساد میکروبی و تغییرات فیزیکیوشیمیایی مرتبط باشد. نتایج نشان داد که تمام ویژگی‌های حسی نمونه‌های پروتئین سویا ایزوله شده تا روز ششم دوره نگهداری قابل قبول بود. در حالی که در روزهای ۶، ۹، ۱۲ و ۱۳ ذخیره‌سازی برای بو، رنگ، بافت و ویژگی‌های قابل قبول کلی در پروتئین سویا ایزوله شده و پروتئین سویا ایزوله شده- نانوالیاف سلولز قابل قبول بود. مهار طولانی مدت باکتری‌های سرمادوست توسط اسید تانیک ممکن است از ایجاد بوی بد در طول ذخیره‌سازی جلوگیری کند. ویژگی رنگ و بافت روند مشابهی با ویژگی بو برای فیله‌های ماهی پیچیده شده با پروتئین سویا ایزوله شده- نانوالیاف سلولز/ اسید تانیک نشان داد. در تایید این نتیجه، تحقیقات مشابهی Maqsood and Soottawat Benjakul (2010a) و Soottawat Benjakul (2010b) به ترتیب برای فیله‌های گربه ماهی راه راه و گوشت چرخ کرده یافت شد که به طور موثر ویژگی‌های حسی را با کاربرد اسید تانیک اصلاح می‌کند [۲۴ و ۴۶].



- [23] Y. Yong, Y. Gu, H.N. Ahmad, A. Wang, R. Wang, J. Zhu, Design and characterization of tannic acid/ ϵ -polylysine biocomposite packaging films with excellent antibacterial and antioxidant properties for beef preservation. *Food Chem.* **439**, 138155 (2023)
- [24] S. Maqsood, S. Benjakul, Preventive effect of tannic acid in combination with modified atmospheric packaging on the quality losses of the refrigerated ground beef. *Food Control.* **21**, 1282-1290 (2010a)
- [25] Y. Khaledian, M. Pajohi-Alamoti, B. Bazargani-Gilani, Development of cellulose nanofibers coating incorporated with ginger essential oil and citric acid to extend the shelf life of ready-to-cook barbecue chicken. *J. Food Process. Preserv.* **43**, e141114(2019)
- [26] ICMSF (International Commission on Microbiological Specifications 377 for Foods). (1986). *Microorganisms in foods. 2. Sampling for microbiological analysis: Principles and scientific applications* (2nd ed.). Toronto: University of Toronto Press.
- [27] A.E. Goulas, M.G. Kontominas, Effect of salting and smoking-method on the keeping quality of chub mackerel (*Scomber japonicus*): Biochemical and sensory attributes. *Food Chem.* **93**, 511–520 (2005).
- [28] U. Siripatrawan, S. Noipha, Active film from chitosan incorporating green tea extract for shelf life extension of pork sausages. *Food Hydrocoll.* **27**, 102-108 (2012)
- [29] N. Shavisi, A. Khanjari, A. Akhondzadeh Basti, A. Misaghi, Y. Shahbazi, Effect of PLA films containing propolis ethanolic extract, cellulose nanoparticle and *Ziziphora clinopodioides* essential oil on chemical, microbial and sensory properties of minced beef. *Meat Sci.* **124**, 95–104 (2017)
- [30] P. Wang, B. Yin, H. Dong, Y. Zhang, Y. Zhang, R. Chen, Z. Yang, C. Huang, Q. Jiang, Coupling Biocompatible Au Nanoclusters and Cellulose Nanofibrils to Prepare the Antibacterial Nanocomposite Films. *Front. Bioeng. Biotechnol.* **8**, 986 (2020).
- [31] L. Yavari Maroufi, N. Shahai, A.A. Fallah, E. Mahmoudi, M.H. Al-Musawi, M. Ghorani, Soy protein isolate/kappa-carrageenan/cellulose nanofibrils composite film incorporated with zenian essential oil-loaded MOFs for food packaging. *Int J Biol Macromol.* **250**, 126176 (2023)
- [32] M. Tavakolian, S.M. Jafari, T.G.M. van de Ven, A Review on Surface-Functionalized Cellulosic Nanostructures as Biocompatible Antibacterial Materials. *Nano-Micro Letters.* **12**, 73 (2020)
- [33] E. Hassan, S. Fadel, W. Abou-Elseoud, M. Mahmoud, M. Hassan, Cellulose Nanofibers/Pectin/Pomegranate Extract Nanocomposite as Antibacterial and Antioxidant Films and Coating for Paper. *Polymers.* **14**, 4605 (2022)
- [34] S. Benjakul, W. Visessanguan, J. Tueksuban, Changes in physico-chemical properties and gel-forming ability of lizardfish (*Saurida tumbil*) during post-mortem storage in ice. *Food Chem.* **80**, 535–544 (2003)
- [35] M. Alizadeh-Sani, E. Mohammadian, D.J. McClements, Eco-friendly active packaging consisting of nanostructured biopolymer matrix reinforced with TiO₂ and essential oil: Application for preservation of refrigerated meat. *Food Chem.* **322**, 126782 (2020)
- [36] S. Kakaie, Y. Shahbazi, Effect of chitosan-gelatin film incorporated with ethanolic red grape seed extract and *Ziziphora clinopodioides* essential oil on survival of *Listeria monocytogenes* and chemical, microbial and sensory properties of minced trout fillet, *LWT– Food Sci. Technol.* **72**, 432-438 (2016).
- [37] Y. Shahbazi, N. Shavisi, Effects of sodium alginate coating containing *Mentha spicata* essential oil and cellulose nanoparticles
- [6] Z.K. Emiroğlu, G.P. Yemiş, B.K. Coşkun, K. Candoğan, Antimicrobial activity of soy edible films incorporated with thyme and oregano essential oils on fresh ground beef patties. *Meat Sci.* **86**, 283–288 (2010).
- [7] S. Rani, R. Kumar, A review on material and antimicrobial properties of soy protein isolate film. *J. Polym. Environ.* **27**, 1613–1628 (2019).
- [8] F. Song, D.L. Tang, X.L. Wang, Y.Z. Wang, Biodegradable soy protein isolate-based materials: A review. *Biomacromolecules*, **12**, 3369–3380 (2011).
- [9] C.H. Tang, Nanostructured Soy Proteins: Fabrication and Applications as Delivery Systems for Bioactives (a review). *Food Hydrocolloids.* **91**, 92-116 (2019).
- [10] C. Calvino, N. Macke, R. Kato, S.J. Rowan, Development, processing and applications of bio-sourced cellulose nanocrystal composites. *Prog. Polym. Sci.* **103**, 101221 (2020)
- [11] F. Luzi, E. Fortunati, D. Puglia, R. Petrucci, J.M. Kenny, L. Torre, Study of disintegrability in compost and enzymatic degradation of PLA and PLA nanocomposites reinforced with cellulose nanocrystals extracted from *Posidonia Oceanica*. *Polym. Degrad. Stab.* **121**, 105-115 (2015).
- [12] L. Goñi-Ciaurritz, I. Vélaz, Antibacterial and degradable properties of β -cyclodextrin-TiO₂ cellulose acetate and polylactic acid bionanocomposites for food packaging. *Int. J. Biol. Macromol.* **216**, 347-360 (2022).
- [13] S.P. Lakshmi Balasubramaniam, A.S. Patel, B. Nayak, C. Howell, D. Skonberg, Antioxidant and antimicrobial modified cellulose nanofibers for food applications. *Food Biosci.* **44**, 101421 (2021)
- [14] L. Chen, Q. Wang, K. Hirth, C. Baez, U.P. Agarwal, J.Y. Zhu, Tailoring the yield and characteristics of wood cellulose nanocrystals (CNC) using concentrated acid hydrolysis. *Cellulose.* **22**, 1753-1762 (2015)
- [15] Z. Deng, J. Jung, Y. Zhao, Development, characterization, and validation of chitosan adsorbed cellulose nanofiber (CNF) films as water resistant and antibacterial food contact packaging. *LWT– Food Sci. Technol.* **83**, 132–140 (2017)
- [16] O. Nechyporchuk, M.N. Belgacem, J. Bras, Production of cellulose nanofibrils: A review of recent advances. *Ind. Crop. Prod.* **93**, 2-25 (2016)
- [17] A. González, G. Gastelú, G.N. Barrera, P.D. Ribotta, C.I. Álvarez Igarzabal, Preparation and characterization of soy protein films reinforced with cellulose nanofibers obtained from soybean by-products. *Food Hydrocoll.* **89**, 758-764 (2019).
- [18] S.J. Lee, M.A. Gwak, K. Chathuranga, J.S. Lee, J. Koo, W.H. Park, Multifunctional chitosan/tannic acid composite films with improved anti-UV, antioxidant, and antimicrobial properties for active food packaging. *Food Hydrocoll.* **136**, 108249 (2023)
- [19] M.L. Picchio, Y.G. Linck, G.A. Monti, L.M. Gugliotta, R.J. Minari, C.I. Alvarez Igarzaba, Casein films crosslinked by tannic acid for food packaging applications. *Food Hydrocoll.* **84**, 424-434 (2018).
- [20] W. Zhang, S. Roy, P. Ezati, D.P. Yang, J.W. Rhim, Tannic acid: A green crosslinker for biopolymer-based food packaging films. *Trends Food Sci. Technol.* **136**, 11-23 (2023).
- [21] CFR - Code of Federal Regulations Title 21 (n.d.), <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfCFR/CFRSearch.cfm?fr=73.575>. (Accessed 11 January 2022).
- [22] S. Rivero, M.A. Garcia, A. Pinotti, Crosslinking capacity of tannic acid in plasticized chitosan films. *Carbohydr. Polym.* **82**, 270–276 (2010)

- [42] M. Esmaeili, A. Khodanazary, Effects of pectin/chitosan composite and bi-layer coatings combined with *Artemisia dracunculus* essential oil on the mackerel's shelf life. *J. Food Meas. Charact.* **15**, 3367-3375 (2021)
- [43] H. Wang, D. Hu, Q. Ma, L. Wang, Physical and antioxidant properties of flexible soy protein isolate films by incorporating chestnut (*Castanea mollissima*) bur extracts. *LWT-Food Sci. Technol.* **71**, 33-39 (2016)
- [44] H.B. Singh K.A. Bharati, *Handbook of Natural Dyes and Pigments*; Woodhead Publishing India Pvt. Limited: New Delhi, India, 2014; 121.
- [45] A. Ehsani, E.K. Banihabib, M. Hashemi, M. Saravani, E. Yarahmadi, Evaluation of Various Properties of Symbiotic Yoghurt of Buffalo Milk. *J. Food Process. Preserv.* **40**, 1466-1473 (2016)
- [46] S. Maqsood, S. Benjakul, Synergistic effect of tannic acid and modified atmospheric packaging on the prevention of lipid oxidation and quality losses of refrigerated striped catfish slices. *Food Chem.* **121**, 29-38 (2010b)
- on extending the shelf life of raw silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) fillets. *Food Sci. Biotechnol.* **28**, 433-440 (2019).
- [38] P.Y. Idakwo, C.A. Negbenebor, M.H. Badau, D.I. Gbenyi, Total volatile base nitrogen (TVBN) and trimethylamine (TMA) content of "Bunyi youri" as influenced by the addition of glucose and clove during storage. *Int. J. Biotechnol. Food Sci.* **4**, 81-85 (2016)
- [39] Y.A. Arfat, S. Benjakul, K. Vongkamjan, P. Sumpavapol, S. Yarnpakdee, half-life extension of refrigerated sea bass slices wrapped with fish protein isolate/fish skin gelatin-ZnO nanocomposite film incorporated with basil leaf essential oil. *Food Sci. Technol.* **52**, 6182-6193 (2015)
- [40] I. Echeverría, M.E. López-Caballero, M.C. Gómez-Guillén, A.N. Mauri, M.P. Montero, Active nanocomposite films based on soy proteins-montmorillonite- clove essential oil for the preservation of refrigerated bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) fillets. *Int. J. Food Microbiol.* **266**, 142-149 (2018).
- [41] N.P. Nirmal, S. Benjakul, Retardation of quality changes of Pacific white shrimp by green tea extract treatment and modified atmosphere packaging during refrigerated storage. *Int. J. Food Microbiol.* **149**, 247- 253 (2011)

AUTHOR(S) BIOSKETCHES

Khodanazary, A., Associate Professor, Fisheries, Marine Natural Resources, Marine Science and Technology, Khorramshahr, Iran

✉ khodanazary@yahoo.com

 0000-0001-8960-7324

Ghani Kuvei, F. Mr.c Student, Fisheries, Marine Natural Resources, Marine Science and Technology, Khorramshahr, Iran

faghkov@gmail.com

0000-0002-7877-6752

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Citation (Vancouver) Khodanazary, A. Effect of gelatin-polycaprolactone composite film incorporated with lysozyme on the shelflife of refrigerated mackerel *Scomberomorus commerson* during storage at refrigerator. *J Oceanography*, 2025



<http://doi.org/10.52547/joc.16.62.2>



<http://joc.inio.ac.ir//article-1-1858-fa.html>



<https://orcid.org/0000-0001-8960-7324>



COPYRIGHTS

©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.