مروری بر تأثیر مواد محافظ سرما بر ویژگی‌های ساختاری و کیفیت ژل سوریمی حاصل از ماهیان

فائزه ترک‌پهنابی*[۱و۲]، سکینه یگانه[۲]، نرگس عالیشاه[۱]

۱- پژوهشکده اکولوژی دریای خزر، مؤسسه تحقیقات علوم شیلاتی ایران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران
۲-گروه شیلات، دانشکده علوم دامی و شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

*ایمیل نویسنده مسئول: pahnabifaezeh@gmail.com

چکیده

سوریمی، به‌عنوان منبعی غنی از پروتئین‌های میوفیبریلی، نقش کلیدی در تولید محصولات پروتئینی با ارزش افزوده ایفا می‌کند. با این حال، این پروتئین‌ها در طی ذخیره‌سازی منجمد دچار تغییرات ساختاری و عملکردی می‌شوند که می‌تواند کیفیت سوریمی را کاهش دهد. برای مقابله با این چالش، افزودن مواد محافظ سرما به‌عنوان رویکردی مؤثر جهت تثبیت پروتئین‌های میوفیبریلی و حفظ ویژگی‌های عملکردی و ساختاری سوریمی پیشنهاد شده‌است. تحقیقات نشان داده‌اند که موادی مانند ساکارز، سوربیتول، پلی‌دکستروز، لاکتیول، مالتودکسترین، لایتس، لاکتات سدیم، ترهالوز و فسفات‌ها می‌توانند با کاهش ویسکوزیته، بهبود حفظ رطوبت، کاهش دناتوراسیون پروتئین‌ها و افزایش پایداری آن‌ها طی انجماد، تأثیر بسزایی در حفظ کیفیت سوریمی داشته باشند. این مواد با جلوگیری از تجمع و تخریب پروتئین‌های میوفیبریلی، ویژگی‌های عملکردی همچون توانایی ژل‌سازی، نگهداری آب و استحکام ژل را بهبود بخشیده و در نهایت موجب افزایش کیفیت محصولات نهایی می‌شوند. این مطالعه به‌طور جامع نقش مواد محافظ سرما را در کاهش تغییرات فیزیکی، شیمیایی و ساختاری در سوریمی بررسی کرده و تأثیر این مواد را بر کیفیت ژل‌های حاصل از سوریمی تحلیل می‌کند. همچنین، عواملی همچون نوع ماهی، ترکیب شیمیایی سوریمی، شرایط ذخیره‌سازی و نوع مواد محافظ سرما که بر پایداری و کیفیت ژل تأثیرگذار هستند، مورد بحث قرار گرفته‌اند. نتایج این تحقیق، علاوه بر ارائه درکی بهتر از مکانیزم‌های تأثیر مواد محافظ سرما، به شناسایی راهکارهای عملی برای بهینه‌سازی فرآیندهای تولید کمک می‌کند. این یافته‌ها می‌توانند نه‌تنها کیفیت و ماندگاری محصولات سوریمی را افزایش دهند، بلکه نقش مهمی در بهبود اقتصادی و رقابت‌پذیری صنعت فرآوری آبزیان در سطح جهانی ایفا کنند.

واژه‌های کلیدی: سوریمی، مواد محافظ سرما، پروتئین‌های میوفیبریلی، ذخیره‌سازی منجمد

۱- مقدمه

در طول تاریخ، نگرش انسان به ماهی و سایر غذاهای دریایی همواره در حال تغییر بوده است. در اوایل دهه ۱۹۷۰ میلادی، ماهی تنها به‌عنوان منبعی برای مقابله با گرسنگی شناخته می‌شد، اما در حال حاضر به دلیل برخورداری از منابع سرشار از پروتئین‌های قابل‌هضم، تمامی آمینواسیدهای ضروری، اسیدهای چرب غیراشباع با خواص درمانی همچون ایکوزاپنتانوئیک اسید (EPA) و دوکوزاهگزانوئیک اسید (DHA)، ویتامین‌ها، کلسیم، ید و سایر ریزمغذی‌ها، به‌عنوان غذایی سالم و باارزش مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به مشکلاتی نظیر صید بیش‌ازحد ذخایر آبزیان و آلودگی رودخانه‌ها، فرآوری محصولات شیلاتی و ایجاد ارزش افزوده به‌عنوان راهی برای تأمین امنیت غذایی و بهره‌برداری بهینه از منابع آبی، اهمیت زیادی یافته است. یکی از روش‌های شناخته‌شده در این زمینه، تولید سوریمی است که به‌عنوان یکی از فرآورده‌های اصلی از ماهیان کم‌مصرف و ضایعات ماهی به شمار می‌آید [۱].

تولید سوریمی برای اولین بار در ژاپن به عنوان راهکاری برای نگهداری ماهی به مدت طولانی آغاز شد. با گذر زمان و توسعه فناوری‌های مدرن، این صنعت به سایر نقاط جهان گسترش یافت. امروزه استفاده از تجهیزات پیشرفته و افزودنی‌های عملکردی مانند مواد محافظ سرما باعث بهبود کیفیت و کارایی فرآیند تولید شده است [۲].

هر دو گونه ماهی دریایی و آب شیرین می‌توانند در تولید سوریمی مورد استفاده قرار گیرند. ماهی‌هایی مانند بلو وایتینگ[1]، ساردین[2]، اسنپر چشم‌درشت[3]، آلاسکا پولاک[4] و ماهی مارمولکی[5] از گونه‌های رایج در تولید سوریمی هستند. علاوه بر این، هر دو عضله تیره و روشن ماهی در تولید سوریمی اهمیت دارند؛ عضلات روشن به دلیل پایداری بیشتر پروتئین‌ها، اکسیداسیون کمتر چربی و تغییرات کمتر استرس، برای تولید سوریمی با کیفیت اهمیت بیشتری دارند. از سوی دیگر، سوریمی تولیدشده با عضلات تیره به دلیل محتوای بالای پروتئین‌های هم، اکسیداسیون چربی‌ها، فعالیت‌های پروتئولیتیک و پایداری کمتر پروتئین، کیفیت پایین‌تری دارد [۳].

سوریمی به گوشت ماهی بدون استخوان گفته می‌شود که تحت فرآیندهای شستشو و آب‌گیری قرار می‌گیرد تا پروتئین‌های سارکوپلاسمی حذف شده و پروتئین‌های میوفیبریلی تغلیظ شوند. در فرآیند تولید سوریمی، ماهی تازه پوست‌گیری، استخوان‌گیری و شسته می‌شود. گوشت ماهی سپس چرخ شده، در آب یخ شسته، از طریق فیلتراسیون و فشار آب‌گیری شده و با مواد محافظ سرما (مانند ساکارز، سوربیتول و تری‌پلی‌فسفات سدیم (STPP)) مخلوط و بسته‌بندی می‌شود تا در فریزر ذخیره گردد. مواد محافظ سرما نقش مهمی در جلوگیری از کم‌آبی پروتئین‌های سوریمی دارند و از دناتوره شدن پروتئین‌های میوفیبریلی در طول نگهداری در حالت انجماد پیشگیری می‌کنند، که به این ترتیب قابلیت تشکیل ژل سوریمی حفظ می‌شود [۴]. فرآیند تولید سوریمی منجر به تولید یک کنسانتره پروتئینی سفیدرنگ، بدون بو و با کیفیت تغذیه‌ای بالا می‌شود. علاوه بر این، فرآیند تولید سوریمی به‌عنوان یک جایگزین برای استفاده مجدد از محصولات جانبی عمل کرده و به طور گسترده‌ای برای ایجاد و تقلید از بافت‌ها استفاده می‌شود، و به‌عنوان پایه‌ای برای تولید محصولاتی مانند کامابوکو، کانیکاما و چوب‌های خرچنگ به کار می‌رود [۵].

با توجه به فسادپذیری بالای ماهیان به دلیل ساختار زیستی خاص، نگهداری سوریمی در دماهای پایین به‌ویژه در حالت انجماد به‌عنوان یکی از راهکارهای اصلی برای حفظ کیفیت این محصول شناخته شده است. یکی از چالش‌های مهم در فرآوری سوریمی، حفظ ویژگی‌های پروتئینی آن در طول دوره انجماد است. تغییرات نامطلوبی مانند کاهش کیفیت بافت، طعم و رنگ محصول ممکن است رخ دهد، که برای مقابله با این مشکلات، استفاده از مواد محافظ سرما مانند سوربیتول و ساکارز راه‌حلی مؤثر به شمار می‌رود. این مواد با کاهش دمای انجماد و محافظت از ساختار پروتئین‌ها، در بهبود کیفیت و افزایش ماندگاری محصول نقش کلیدی ایفا می‌کنند [۳].

با توجه به تحقیقات اخیر، استفاده از ترکیباتی مانند پلی‌دکستروز، پپتیدها و هیدرولیزات‌ها برای بهبود پایداری ساختاری پروتئین‌ها در شرایط ذخیره‌سازی منجمد نیز مورد توجه قرار گرفته است. با وجود پیشرفت‌های حاصل‌شده، همچنان نیاز به توسعه روش‌های نوین و مواد افزودنی مؤثرتر برای بهبود کیفیت سوریمی و افزایش قابلیت رقابت این محصول در بازار جهانی وجود دارد. سوریمی به دلیل خواص کاربردی و قابلیت نگهداری طولانی‌مدت در صنایع غذایی از اهمیت اقتصادی ویژه‌ای برخوردار است. در بسیاری از کشورها، تولید و صادرات سوریمی به عنوان یکی از منابع درآمدی مهم در صنایع دریایی شناخته می‌شود. این محصول علاوه بر ارزش اقتصادی، نقش مهمی در تأمین پروتئین باکیفیت برای مصرف انسانی ایفا می‌کند [۵]. بنابراین، هدف این مقاله بررسی نقش مواد محافظ سرمای مختلف در حفاظت سوریمی و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و ساختاری

---

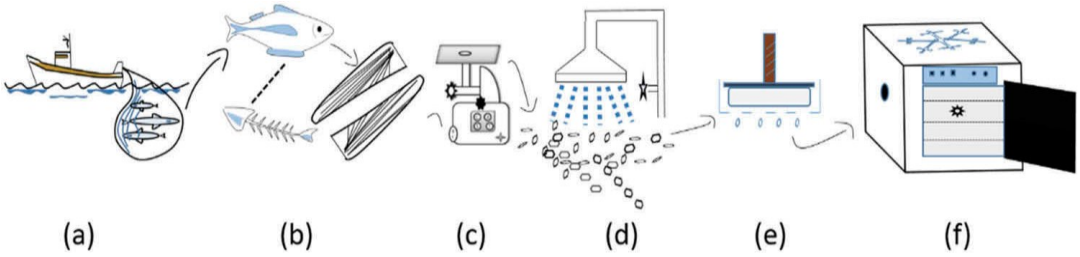
[1] Blue whiting
[2] sardine
[3] bigeye snapper
[4] Alaska pollock
[5] lizardfish

کیفیت ژل سوریمی است که در اثر حرارت ایجاد می‌شود و پیشنهادات معناداری برای حفظ سوریمی و بهبود ویژگی‌های ژل آن ارائه می‌دهد.

۲-کلیات

۲-۱ سوریمی به‌عنوان ماده خام

واژه "سوریمی" از ژاپن گرفته شده و به معنای خمیر گوشت خردشده است که در فرآیند تولید "کامابوکو"، محصول سنتی ژاپنی که از حرارت‌دهی سوریمی تهیه می‌شود، به‌کار می‌رود. طبق گزارش سازمان غذا و کشاورزی، چین سالانه حدود ۱۰۰،۰۰۰ تن سوریمی تولید می‌کند که ۱۳,۲۸درصد از تولید جهانی سوریمی را شامل می‌شود. در چین، سوریمی ۶۰ درصد از کل تولیدات را تشکیل داده و ماده اصلی در محصولات فرآوری‌شده مختلفی مانند چیکووا، کامابوکو، سوسیس‌ها و خرچنگ کانی است. به‌صورت جهانی، سوریمی در تولید محصولات مختلفی مانند میان‌وعده‌های ماهی و کراکرهای ماهی استفاده می‌شود. همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، سوریمی یک ماده خام فرآوری‌شده است که برای تولید محصولات با ارزش افزوده، معمولاً مبتنی بر ژل‌سازی ناشی از حرارت، مورد استفاده قرار می‌گیرد. حفظ پروتئین‌های میوفیبریلی سوریمی در طول ذخیره‌سازی منجمد برای دستیابی به سوریمی با کیفیت خوب و در نتیجه خواص فیزیکوشیمیایی مناسب ژل سوریمی بسیار حائز اهمیت است [۶]. (شکل ۱)



شکل ۱: نمودار شماتیک فرآوری سوریمی

۲-۲ نقش حفاظتی مواد محافظ سرما در ماده خام سوریمی

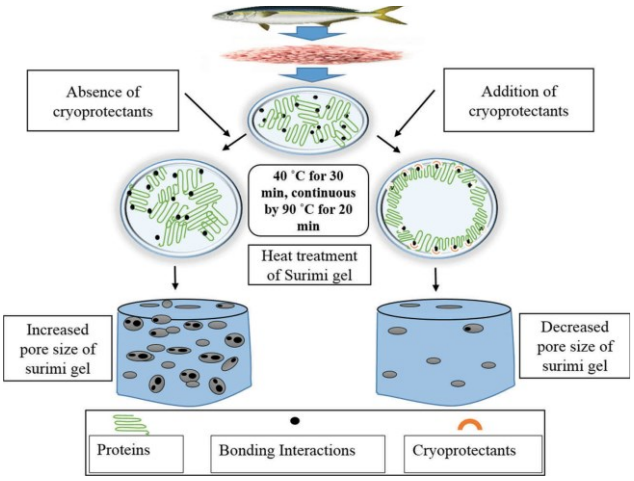
مواد محافظ سرما ترکیباتی هستند که با پروتئین‌های میوفیبریلی در طول ذخیره‌سازی منجمد تعامل می‌کنند تا از تغییرات آن‌ها جلوگیری کنند. ذخیره‌سازی منجمد موجب کاهش یکپارچگی ماهیچه‌ها می‌شود، زیرا کریستال‌های یخ شکل می‌گیرند که در نهایت به سلول‌ها آسیب انجمادی وارد می‌کنند. افزودن مواد محافظ سرما به سوریمی از دناتوره شدن پروتئین‌ها جلوگیری می‌کند و خواص عملکردی و ساختاری آن‌ها را با پیوند به گروه‌های عملکردی پروتئین‌ها تثبیت می‌کند. این اثر مبتنی بر توانایی آن‌ها در افزایش کشش سطحی آب است که مانع از حذف آب از پروتئین‌ها شده و پیوندهای هیدروژنی بین پروتئین-پروتئین و پروتئین-آب را حفظ می‌کند. هدف اصلی از افزودن مواد محافظ سرما به سوریمی، ایجاد یک محیط دهیدراته برای حفظ مواد خام با افزایش فشار اسمزی و ایجاد جریان مثبت آب است. در طول ذخیره‌سازی منجمد، مواد محافظ سرما از تشکیل کریستال، آسیب به مواد خام و کاهش رطوبت جلوگیری می‌کنند و همچنین ساختار اکتومیوزین را حفظ کرده و از کاهش حلالیت پروتئین‌ها جلوگیری می‌کنند [۷]. (شکل ۲)

۲-۳ مواد محافظ سرمای مورد استفاده در ماده خام سوریمی

۲-۳-۱ ساکارز

ساکارز یکی از مواد محافظ سرمای مهم است که به طور گسترده در ذخیره‌سازی منجمد سوریمی استفاده می‌شود. به طور معمول، به میزان ۴٪ همراه با سوربیتول (۴٪) و پلی‌فسفات (۰,۲٪) اضافه می‌شود که از دناتوره شدن و تجمع پروتئین‌های

میوفیبریلی در طول ذخیره‌سازی منجمد جلوگیری می‌کند. ترکیبات تجاری ساکارز و سوربیتول (۱:۱) همراه با پلی‌فسفات‌ها گزارش شده است که از دناتوره شدن پروتئین‌های منجمد سوریمی جلوگیری می‌کنند. علاوه بر این، ترکیب ساکارز، سوربیتول و هگزامتافسفات باعث بهبود ویژگی‌های بافتی و ظرفیت نگهداری آب در سوریمی پولاک آلاسکا می‌شود [۸].



شکل ۲: نقش مواد محافظ سرما در حفاظت از تغییرات ژل سوریمی

۲-۳-۲ پلی‌دکستروز

پلی‌دکستروز یک پودر بی‌بو و سفید با انرژی کم (۱ کیلوکالری بر گرم) است. افزودن ۸٪ پلی‌دکستروز به سوریمی، خواص محافظ سرما را نشان داد. لیتِس یک محصول بهبود یافته از پلی‌دکستروز است که فرآیندهای اضافی برای کاهش تلخی و اسیدیته آن انجام شده است و به عنوان تثبیت‌کننده در قابلیت ژل‌سازی سوریمی مؤثر است [۹].

۲-۳-۳ لاکتیتول

لاکتیتول یک دی‌ساکارید پلی‌اول است که به عنوان جایگزینی برای ساکارز به کار می‌رود. این ماده از هیدروژناسیون لاکتوز به دست می‌آید و به دلیل گروه‌های هیدروکسیلی موجود، با پروتئین‌ها تعامل داشته و از دیگر تعاملات در طول ذخیره‌سازی جلوگیری می‌کند [۱۰].

۲-۳-۴ مالتودکسترین

مالتودکسترین یک پلی‌ساکارید است که در مقیاس تجاری با وزن‌های مولکولی مختلف موجود است (M-040، M-100 و غیره). این ماده پتانسیل خود را به عنوان عامل ضدیخ در ماهیچه‌های ماهی طی ذخیره‌سازی در دماهای مختلف نشان داده است [۱۱].

۲-۳-۵ سدیم لاکتات

سدیم لاکتات به عنوان امولسیفایر، کنترل‌کننده pH، تقویت‌کننده طعم و رطوبت‌دهنده شناخته می‌شود و به عنوان کریوپروتکتانت به کار می‌رود. این ماده با محافظت از پروتئین‌های اکتومیوزین و کاهش افت چکه سوریمی در طول ذخیره‌سازی منجمد، به عنوان تثبیت‌کننده مؤثر است [۱۲].

۲-۳-۶ ترهالوز

ترهالوز یک قند رژیمی غیرکاهنده است که از موجودات مختلف استخراج می‌شود. این ماده با جلوگیری از دناتوره شدن پروتئین‌ها و افزایش مقدار آب غیرمنجمد در سوریمی، از پروتئین‌ها محافظت می‌کند [۱۳].

۲-۳-۷ فسفات‌ها

فسفات‌ها ترکیبات طبیعی هستند که شامل نمک‌ها و مواد معدنی دیگر می‌شوند و به عنوان کریوپروتکتانت مؤثر در ذخیره‌سازی شناخته شده‌اند. انواع مختلف فسفات‌ها، از جمله سدیم تری‌پلی‌فسفات (STPP) و سدیم هگزامتافسفات (SHMP)، به سوریمی افزوده می‌شوند که تأثیرات متفاوتی بر ژل‌سازی دارند. اثرات فسفات‌ها بر پروتئین‌های میوفیبریلی شامل بهبود ویژگی‌های بافرینگ، تجزیه فیلامنت‌های ضخیم و جداسازی اکتومیوزین است[۱۴]. (جدول ۱)

جدول ۱: اثرات مواد محافظ سرما بر پروتئین‌های سوریمی در طی ذخیره‌سازی منجمد

Name of fish species	Cryoprotectants	Results
Fresh cod	Sucrose, sorbitol, polydextrose and phosphates	Protein solubility increased after no change of first three days. Sodium dodecyl sulfate-polyacrylamide gel (SDS) showed the saltsoluble protein's solubility bands with band width of 200, 130 and 90 kd.
Ling cod	Lactitol, litesse, sucrose and sorbitol	Gel strength, myosin-to-actin ratio remained same and saltextractable protein decreased during frozen storage.
Surubí	Maltodextrin, sucrose and sorbitol	Results showed the decline in gel strength with maltodextrin but sucrose and sorbitol cryoprotectants showed better results on protein stability and gel strength after 45 and 90 days.
Bigeye snapper	Polyphosphate (PP)	SEM study reveals that PP impart role in improving the gel structure with fine network.
Grass carp	Sucrose, sorbitol, trehalose and polyphosphate	All cryoprotectants were efficient in the protein stability and extraction of salt soluble proteins at −25 °C. Trehalose 6% and polyphosphate also proved effective in protecting proteins.
Common carp	Sucrose and sorbitol	Cyroprotectant protect MP (myofibrillar proteins) proteins by maintaining three-dimensional structure and decline of MP thermal stability.
Common carp	Sucrose and sorbitol	Decrease in carbonyl formation in MP and increased protein surface hydrophobicity.
Whole pacific hake	Fish protein hydrolysates (FPHS)	Help in stabilizing myosin protein, analysed through differential scanning calorimetry (DSC) technique and increase the salt extractable proteins.

۲-۴ ژل‌های سوریمی حاصل از حرارت

ژل‌سازی حرارتی سوریمی یکی از تکنیک‌های رایج در تولید محصولات بر پایه سوریمی است که نقش پروتئین‌های میوفیبریلی، به‌ویژه میوزین، در آن برجسته است. در این فرآیند، افزودن نمک‌ها (غلظت ۱,۷ تا ۳,۵ درصد) موجب باز شدن محل‌های تعامل پروتئین‌ها و تشکیل شبکه سه‌بعدی ژل می‌شود که در آن انواع پیوندهای هیدروفوبیک، هیدروژنی و یونی دخیل هستند. کیفیت ژل‌سازی پروتئین‌های سوریمی تحت تأثیر شرایط انجماد نامناسب کاهش می‌یابد که یکی از دلایل آن تجمع فرمالدهید در اثر واکنش تری‌متیل‌آمین اکسید موجود در ماهی است. در دمای ۳۶ تا ۷۰ درجه سانتی‌گراد، میوزین

دناتوره شده و گروه‌های واکنش‌پذیر آزاد می‌کند که پیوندهای مختلفی را تشکیل می‌دهند. در دماهای زیر ۴۰ درجه سانتی‌گراد، آنزیم ترانس‌گلوتامیناز با کراس‌لینک کردن پروتئین‌ها به تشکیل ژل‌های اولیه (سوواری) کمک می‌کند. با گرمایش بیشتر (۸۰–۹۰ درجه سانتی‌گراد)، ژل سختی به نام ژل نوع کامابوکو شکل می‌گیرد که با پیوندهای دی‌سولفید و غیرکووالانسی تثبیت می‌شود. این فرآیند منجر به تشکیل ماتریس پروتئینی مستحکمی می‌شود که قادر به نگه‌داشتن آب است. کیفیت نهایی ژل به عوامل متعددی مانند دما، سرعت تجمع پروتئین‌ها و نوع تعاملات میان پروتئین‌ها بستگی دارد [۱۵].

۲-۵ کیفیت ژل سوریمی

کیفیت ژل سوریمی را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد:

۱. ویژگی‌های عملکردی: این ویژگی‌ها شامل تأثیر مواد اولیه بر خصوصیات فرآوری سوریمی مانند شکستگی، پارگی، مقاومت و غیره است. تمامی خصوصیات عملکردی سوریمی بر اساس رئولوژی، رنگ و ویژگی‌های بافتی تعیین می‌شوند.

۲. ویژگی‌های ترکیبی: این ویژگی‌ها بر اساس محتویات پروتئین، چربی و رطوبت در سوریمی ارزیابی می‌شوند [۱۶].

۲-۶ تأثیر گونه‌های ماهی و ترکیب بر کیفیت سوریمی

سوریمی از طریق استخوان‌گیری، چرخ کردن و شست‌وشوی مداوم با آب سرد برای حذف پروتئین‌های سارکوپلاسمی، لیپیدها و سایر رنگدانه‌ها تولید می‌شود. گونه‌هایی مانند آلاسکا پولاک و ماهی‌های سفید لاغر به دلیل چربی کم معمولاً در تولید سوریمی استفاده می‌شوند [۱۷].

۲-۶-۱ گونه‌های ماهی مورد استفاده در تولید سوریمی [۳]:

- ماهی Southern Blue Whiting (*Micromesistius australis*): این گونه با ترکیب عضلات خود که شامل حدود ۷۹٪ رطوبت، ۱۸٪ پروتئین، ۱,۴۵٪ خاکستر، ۰,۸۰٪ چربی و ۰,۷۵٪ کربوهیدرات است، برای تولید سوریمی استفاده می‌شود.

- ماهی Croaker (*Pannahai macrophthalmus*): از گونه‌های مهم آسیایی با پروتئین‌های میوفیبریلی پایدار است که آن را برای انجماد و تولید سوریمی مناسب می‌کند.

- ماهی Lizardfish: این ماهی به دلیل گوشت سفید، توانایی ژل‌سازی خوب و طعم مطلوب برای تولید سوریمی استفاده می‌شود، اما پایداری ضعیف پروتئین و ویژگی‌های بافتی کمتری نسبت به سایر گونه‌ها دارد.

۲-۶-۲ عوامل مؤثر بر استحکام ژل سوریمی

- سوریمی تولیدشده از ماهی‌های با محتوای چربی بالا و کلاژن نامحلول، ژل نرم‌تری ایجاد می‌کند.

- ژل‌های حاصل از گوشت چرخ‌نشده که حاوی لیپیدها و پروتئینازهای فعال شده با حرارت هستند، ممکن است از نظر کراس‌لینک شدن میوزین دچار اختلال شوند و ژل ضعیفی شکل گیرد.

- حضور کلاژن نامحلول نیز باعث کاهش استحکام ژل‌های حرارتی سوریمی می‌شود [۱۴].

۲-۷ تأثیر انبارداری سرد بر سوریمی

نگهداری ماهی در دمای مناسب و با روش صحیح می‌تواند رشد باکتری‌ها، اکسیداسیون لیپیدها، تخریب آنزیمی و سایر فرآیندهای فساد را کند کند. روش‌های مختلفی برای حفظ تازگی سوریمی استفاده می‌شود که شامل یخ دوغابی، یخ پولکی و یخچال‌گذاری است. این روش‌ها به طور گسترده برای حفظ کیفیت سوریمی به کار می‌روند [۱۸].

۲-۸ اثر نمک بر ژل سوریمی القا شده با حرارت

نمک، به ویژه کلرید سدیم، برای حل پروتئین‌های میوفیبریلی در فرآیند ژل‌سازی سوریمی ضروری است. میزان استاندارد ۲–۳ گرم در ۱۰۰ گرم کلرید سدیم می‌تواند باعث انحلال مطلوب پروتئین‌های میوفیبریلی شده و ژلی مناسب ایجاد کند. کاهش نمک در سوریمی به دلیل کاهش انحلال‌پذیری پروتئین‌های میوفیبریلی، می‌تواند منجر به افت کیفیت ژل شود. با این حال، استفاده از نمک‌های جایگزین مانند یون‌های مانند Na^+، Mg^{2+}، K^+ و Ca^{2+}، یا ترکیب آن‌ها با فرآیندهای فشار بالا می‌تواند تا حدودی جایگزین کلرید سدیم شده و خواص فیزیکوشیمیایی مشابهی ایجاد کند [۱۹].

۲-۹ اثر کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌ها به عنوان افزودنی بر ژل سوریمی

کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها و پپتیدها به عنوان هیدروکلوئیدهای غذایی نقش کلیدی در پایداری عملکردی و ساختاری ژل سوریمی دارند. این ترکیبات با بهبود ماتریکس ژل، تغییر تحرک و ویسکوزیته فاز مایع، و تأثیر بر خصوصیات ساختاری و بافتی ژل عمل می‌کنند [۲۰].

۲-۹-۱ کربوهیدرات‌ها:

- **نشاسته:**

- نشاسته بر سفتی و استحکام ژل تأثیر دارد و پایداری حرارتی ژل را در دماهای بالا کنترل می‌کند.
- افزودن نشاسته پیش‌ژلاتینه شده، سختی ژل را افزایش می‌دهد و نشاسته برنج نیز پایداری، ظرفیت نگهداری آب (WHC) و ویژگی‌های بافتی ژل را طی انجماد بهبود می‌بخشد [۲۱].

- **صمغ‌ها:**

- صمغ‌ها به دلیل سازگاری بالا با پروتئین‌های ماهی، ویژگی‌های بافتی و WHC ژل سوریمی را بهبود می‌بخشند.
- صمغ Konjac glucomannan (KGM) دارای اثرات محافظ سرما بوده و از دناتوراسیون و تجمع پروتئین‌های میوفیبریلی در طی انجماد جلوگیری می‌کند.
- افزودن KGM و کاراگینان باعث بهبود استحکام و تغییرشکل ژل سوریمی می‌شود [۲۲].

- **پکتین‌ها:**

- پکتین‌های کم متوکسیله (LM) توانایی افزایش سختی ژل را دارند و با ایجاد پیوندهای هیدروژنی میان پروتئین و پکتین، ویژگی‌های مکانیکی ژل سوریمی را بهبود می‌دهند [۲۳].

- **فیبرها:**

- فیبرهای غذایی انگور قرمز و سفید، ویژگی‌های ساختاری و WHC ژل سوریمی را بهبود می‌بخشند.
- فیبر ریشه کاسنی و فیبر گندم نیز تأثیرات مثبت بر خصوصیات مکانیکی و الاستیسیته ژل سوریمی نشان داده‌اند [۲۴].

۲-۹-۲ پروتئین‌ها

تخریب پروتئین‌های میوفیبریلی اثر منفی بر توانایی تشکیل ژل سوریمی دارد. پروتئین پلاسما گاو و پروتئین سفیده تخم‌مرغ (EWP) به‌طور گسترده‌ای برای جلوگیری از تخریب بافتی و خصوصیات فیزیکی ژل سوریمی استفاده می‌شوند. این مهارکننده‌های پروتئیناز همچنین به‌عنوان افزودنی‌های غذایی شناخته می‌شوند [۳].

- **پروتئین‌های پلاسما گاو:**

پروتئین پلاسما گاو به‌عنوان مهارکننده پروتئیناز و عامل ژل‌سازی، به دلیل داشتن ۷۰٪ پروتئین و خصوصیات ژل‌سازی عالی، شناخته شده است. این پروتئین‌ها در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد ژلی الاستیک و غیرقابل برگشت تولید می‌کنند. افزودن

٪۰٫۵ پودر پروتئین پلاسما گاو به ژل سوریمی، از تخریب میوزین در فرآیند ژلاسیون جلوگیری کرده و خواص ژل سوریمی را بهبود می‌بخشد. همچنین، این پروتئین‌ها تا ۳٪ خاصیت ژل‌سازی ماهی لیزاردفیش را نسبت به EWP افزایش می‌دهند. با این حال، به دلیل شیوع بیماری‌های گاوی، استفاده از این پروتئین در ژاپن، آمریکا، اتحادیه اروپا و کانادا ممنوع شده است [۲۵].

- **سفیده تخم‌مرغ (EWP):**

سفیده تخم‌مرغ به‌طور گسترده در محصولات سوریمی برای بهبود کشش و الاستیسیته در پردازش‌های حرارتی استفاده می‌شود. میزان مصرف آن به نوع و کیفیت ماهی بستگی دارد. افزودن ۱۰٪ سفیده تخم‌مرغ باعث افزایش استحکام ژل می‌شود، اما افزودن ۲۰٪ موجب کاهش استحکام و نرم‌تر شدن بافت ژل می‌گردد. این ماده با پر کردن فضاهای میان‌باخته در شبکه پروتئینی، ساختار ژل را تقویت می‌کند. با این حال، سفیده تخم‌مرغ به دلیل آلرژن بودن، نیاز به ذکر روی برچسب محصولات دارد و ممکن است طعم ناخوشایندی ایجاد کند یا با اجزای دیگر، به‌ویژه آلدهیدها، واکنش دهد [۲۶].

- **پروتئین کنسانتره شیر (WPC):**

پروتئین کنسانتره شیر به‌طور مکرر به‌عنوان عامل نگهدارنده آب، مکمل پروتئینی، امولسیفایر، ژل‌ساز و غلیظ‌کننده استفاده می‌شود. تحقیقات قبلی نشان داده‌اند که با افزودن WPC، کرنش برشی ژل‌های سوریمی افزایش می‌یابد. نیروی شکست و تغییرشکل زمانی که غلظت WPC از ۰ به ۳٪ در ژل کامابوکو افزایش یابد، بیشتر می‌شود. با این حال، باعث کاهش سفیدی ژل می‌شود. علاوه بر این، ظرفیت نگهداری آب ژل سوریمی با افزایش سطح WPC بهبود می‌یابد [۲۷].

- **هیدرولیزات‌های پروتئینی یا پپتیدها:**

هیدرولیزات‌های پروتئینی یا پپتیدها، جایگزین‌های محافظت‌کننده سرد با خواص تثبیت‌کننده پروتئین‌ها در طول انجماد هستند. این ترکیبات با ۳–۲۰ اسید آمینه و توالی‌های خاص، اثرات محافظتی مؤثری دارند. پپتیدهای دریایی از جمله هیدرولیزات‌های پوست ماهی یونیکورن با کاهش مهاجرت آب و تشکیل بلورهای یخ، ساختار پروتئین‌ها را پایدار می‌کنند. تری‌پپتید ژلاتین از دناتوراسیون مایوزین جلوگیری کرده و مانع از دست رفتن آب از پروتئین‌های میوفیبریلی می‌شود. پپتیدهای تیلاپیا و هاکی SQ خاصیت آنتی‌اکسیدانی دارند، و هیدرولیزات پروتئینی کریل از تشکیل بلورهای یخ جلوگیری کرده و فعالیت ATPase کلسیم را بهبود می‌بخشد. همچنین، افزودن ۵–۷٫۵٪ هیدرولیزات میگو به پروتئین‌های میوفیبریلی ماهی لیزاردفیش، فعالیت ATPase کلسیم را حفظ کرده و از اکسیداسیون پروتئین‌ها جلوگیری می‌کند [۲۸].

۲-۱۰ اثرات مواد محافظت‌کننده سرد بر ویژگی‌های تکنو-عملکردی ژل سوریمی

۲-۱۰-۱ ویژگی‌های بافتی:

ویژگی‌های مکانیکی ژل سوریمی نشان‌دهنده پایداری محصول بوده و تحت تأثیر نوع ماهی و مواد محافظ سرما قرار دارند. گو و همکاران گزارش دادند که ذخیره‌سازی منجمد تأثیر زیادی بر این ویژگی‌ها دارد. ژل سوریمی ماهی *Priacanthus tayenus* استحکام ژل ۱۱۰۹ گرم داشت که از ماهی *Priacanthus macracanthus* با ۸۱۱ گرم بیشتر بود. همچنین، استحکام ژل سوریمی کپور از ۶۲۱ گرم به ۲۷۳ گرم پس از ۲۵ هفته ذخیره‌سازی در دمای -۱۸ درجه سانتی‌گراد کاهش یافت. برای سوریمی تیلاپیا، این مقدار از ۵۳۰ گرم به ۲۱۱ گرم در طول ۲۴ هفته کاهش یافت. این کاهش به دناتوراسیون اکتمایوزین مرتبط است که دسترسی زنجیره‌های پروتئینی برای تشکیل ژل را کاهش می‌دهد. افزودن ساکارز و سوربیتول به سوریمی کپور معمولی از اکسیداسیون و دناتوراسیون پروتئین‌ها جلوگیری کرده و خواص بافتی را پس از پنج چرخه انجماد و ذوب حفظ کرد. در نتیجه، مواد محافظ سرما نقش مهمی در بهبود ویژگی‌های مکانیکی ژل سوریمی دارند [۲۹].

۲-۱۰-۲ ظرفیت نگهداری آب (WHC)

WHC یکی از پارامترهای مهم کیفیت سوریمی است که تحت تأثیر مواد محافظ سرما قرار می‌گیرد. آب حدود ۷۰–۸۰ درصد سوریمی را تشکیل می‌دهد و نقش کلیدی در تشکیل ژل دارد. مواد محافظ سرما با جلوگیری از دناتوراسیون پروتئین‌های

میوفیبریلی، کنترل تشکیل بلورهای یخ و بهبود میکروساختار در طول ذخیره‌سازی منجمد، WHC را افزایش می‌دهند. افزودن پلی‌دکستروز باعث کاهش WHC پس از ۱۶ هفته ذخیره‌سازی به‌دلیل تغییر در ساختار عضلات و افزایش اندازه منافذ شد. تجمع پروتئین‌ها به‌دلیل تولید فرمالدهید نیز به کاهش WHC منجر شد. افزودن پلی‌فسفات توسعه ماتریکس ژل فشرده و بهبود WHC را نشان داد. همچنین، ترکیب ۴٪ ساکارز و ۰٫۲٪ کیتوسان باعث بهبود معنادار WHC در طول ذخیره‌سازی ۹۰ روزه شد [۳۰]. با این حال، بررسی جداگانه اثر مواد محافظ سرما بر WHC ژل‌های سوریمی نیازمند مطالعه بیشتر است.

۲-۱۰-۳ میکروساختار

SEM برای بررسی مورفولوژی و اندازه منافذ سطح ژل سوریمی استفاده می‌شود. در طول ذخیره‌سازی منجمد، اندازه منافذ افزایش می‌یابد و ویژگی‌های بافتی و WHC کاهش می‌یابد، مگر اینکه مواد محافظت‌کننده اضافه شوند. ژل سوریمی با ۲٪ مهارکننده پروتئیناز سرین و ۲٪ سفیده تخم‌مرغ ساختار فشرده‌تری دارد. ذخیره‌سازی منجمد بر میکروساختار ژل سوریمی ماهی‌ها تأثیر می‌گذارد و تفاوت‌هایی در توانایی تشکیل ژل وجود دارد. مواد محافظت‌کننده سرد از آسیب ساختار پروتئینی جلوگیری می‌کنند و تغییرات یخ‌زدگی می‌تواند بر میکروساختار تأثیر بگذارد [۳۱].

۳-نتیجه‌گیری‌ها

این مرور با هدف جمع‌آوری اطلاعات موجود در ادبیات علمی درباره اهمیت افزودن مواد محافظت‌کننده سرما به مواد اولیه سوریمی انجام شد. این مواد به‌عنوان راهکاری اساسی برای محافظت از پروتئین‌های میوفیبریلی در طول ذخیره‌سازی منجمد مورد توجه قرار گرفته‌اند. تثبیت پروتئین‌های میوفیبریلی، که کلید دستیابی به ژل‌های سوریمی با کیفیت بالا است، نیازمند بهره‌گیری از مواد محافظت‌کننده‌ای است که بتوانند ویژگی‌های عملکردی پروتئین‌ها از جمله توانایی ژل‌سازی، ظرفیت نگهداری آب و پایداری ساختاری سوریمی را حفظ کنند. در این مطالعه، نقش ساکارز و سوربیتول به‌عنوان پرکاربردترین مواد محافظت‌کننده سرما، چه به‌صورت جداگانه و چه در ترکیب با سایر ترکیباتی مانند پلی‌فسفات‌ها، پروتئین آب‌پنیر (WPC) و پروتئین تخم‌مرغ (EWP) برجسته شده است. این مواد، نه تنها از تخریب ساختار پروتئینی جلوگیری می‌کنند، بلکه با حفظ خواص فیزیکوشیمیایی و میکروساختاری ژل سوریمی، کیفیت و پایداری آن را بهبود می‌بخشند.

با این حال، خلأهای تحقیقاتی متعددی در این زمینه وجود دارد. از جمله، شناسایی مواد محافظت‌کننده سرما بهینه برای هر گونه ماهی، بررسی تأثیر ترکیب این مواد با آنزیم‌های پروتئاز و آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی و ارزان‌قیمت، و همچنین تحلیل اثر آنزیم‌ها بر کیفیت سوریمی در فرآوری و شرایط مختلف ذخیره‌سازی. مطالعات آینده در این حوزه می‌تواند به توسعه مواد محافظت‌کننده سرما با کارایی بیشتر و اقتصادی‌تر کمک کند و راه‌حل‌های پایدارتر و مؤثرتری را برای صنعت فرآوری سوریمی ارائه دهد.

مراجع

[۱] جعفرپور. مقایسه ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی گوشت چرخ شده و سوریمی تهیه شده از کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) در طول دوره انجماد. علوم و فنون شیلات; ۴(۳): ۴۵-۲۹، ۲۰۱۵.

[2] Liu Z, Yang W, Wei H, Deng S, Yu X, Huang T. The mechanisms and applications of cryoprotectants in aquatic products: An overview. Food chemistry; 408:135202, 2023.

[3] Walayat N, Xiong H, Xiong Z, Moreno HM, Nawaz A, Niaz N, Randhawa MA. Role of cryoprotectants in surimi and factors affecting surimi gel properties: A review. Food Reviews International; 38(6):1103-22, 2022.

[4] Arpi N, Rohaya S, Febriani R. Surimi from freshwater fish with cryoprotectant sucrose, sorbitol, and sodium tripolyphosphate. InIOP conference series: Earth and environmental science; Vol. 207, No. 1, p. 012046. IOP Publishing, 2018.
[5] de Albuquerque Sousa TC, Ferreira VCDS, da Silva Araújo ÍB, da Silva FAP. Natural additives as quality promoters in surimi: A brief review. *Journal of Aquatic Food Product Technology*; 31(7), 735-744, 2022.
[6] Santana P, Zilda DS, Huda N. Physicochemical properties of surimi powder made from threadfin bream (*Nemipterus japonicus*) with various dryoprotectants added. Journal of Fundamental and Applied Sciences; 9(2S):866-44, 2017.
[7] Jommark N, Runglerdkriangkrai J, Konno K, Ratana-arporn P. Effect of cryoprotectants on suppression of protein structure deterioration induced by freeze-thaw cycle in Pacific white shrimp. Journal of Aquatic Food Product Technology; 27(1):91-106, 2018.
[8] Lee J, Yuan P, Heidolph BB, Park JW. Physicochemical properties of frozen Alaska pollock fillets and surimi as affected by various sodium phosphates. Journal of Food Processing and Preservation; 42(3):e13530, 2018.
[9] Storage TB. Cryoprotective Effects of Different Levels of Polydextrose in Threadfin ream Surinmi During Frozen Storage. Journal of Fisheries and Aquatic Science; 6(4):404-16, 2011.
[10] Martínez-Monteagudo SI, Enteshari M, Metzger L. Lactitol: Production, properties, and applications. Trends in Food Science & Technology; 83:181-91, 2019.
[11] Mastanjević K, Kovačević D. Physico-chemical and thermal properties of chicken myofibrillar protein concentrate (CMPC) mixed with barley bran flour during frozen storage. Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria; 17(1):19-26, 2018.
[12] Kumar R, Mehta SK. Formulation and physiochemical study of α-tocopherol based oil in water nanoemulsion stabilized with non toxic, biodegradable surfactant: Sodium stearoyl lactate. Ultrasonics sonochemistry; 38:570-578, 2017.
[13] Olsson C, Jansson H, Swenson J. The role of trehalose for the stabilization of proteins. The Journal of Physical Chemistry B; 120(20):4723-4731, 2016.
[14] Xiong YL, Lou X, Wang C, Moody WG, Harmon RJ. Protein extraction from chicken myofibrils irrigated with various polyphosphate and NaCl solutions. Journal of Food Science; 65(1):96-100, 2000.
[15] Techaratanakrai B, Nishida M, Igarashi Y, Watanabe M, Okazaki E, Osako K. Effect of setting conditions on mechanical properties of acid-induced Kamaboko gel from squid Todarodes pacificus mantle muscle meat. Fisheries Science; 77(3):439-446, 2011.
[16] Maity T, Saxena A, Raju PS. Use of hydrocolloids as cryoprotectant for frozen foods. Critical reviews in food science and nutrition; 58(3):420-435, 2018.
[17] Ramírez JA, Uresti RM, Velazquez G, Vázquez M. Food hydrocolloids as additives to improve the mechanical and functional properties of fish products: A review. Food Hydrocolloids; 25(8):1842-1852, 2011.
[18] Maqsood S, Abushelaibi A, Manheem K, Al Rashedi A, Kadim IT. Lipid oxidation, protein degradation, microbial and sensorial quality of camel meat as influenced by phenolic compounds. LWT-Food Science and Technology; 63(2):953-959, 2015.
[19] Cando D, Borderías AJ, Moreno HM. Influence of amino acid addition during the storage life of high pressure processed low salt surimi gels. LWT; 75:599-607, 2017.
[20] Zhang B, Fang CD, Hao GJ, Zhang YY. Effect of kappa-carrageenan oligosaccharides on myofibrillar protein oxidation in peeled shrimp (*Litopenaeus vannamei*) during long-term frozen storage. Food Chemistry; 245:254-61, 2018.

[21] Yang Z, Wang W, Wang H, Ye Q. Effects of a highly resistant rice starch and pre-incubation temperatures on the physicochemical properties of surimi gel from grass carp (Ctenopharyn Odon Idellus). Food Chemistry; 145:212-219, 2014.
[22] Habibi H, Khosravi-Darani K. Effective variables on production and structure of xanthan gum and its food applications: A review. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology; 10:130-140, 2017.
[23] Hosseini SS, Khodaiyan F, Yarmand MS. Optimization of microwave assisted extraction of pectin from sour orange peel and its physicochemical properties. Carbohydrate polymers; 140:59-65, 2016.
[24] Cardoso C, Mendes R, Pedro S, Nunes ML. Quality changes during storage of fish sausages containing dietary fiber. Journal of Aquatic Food Product Technology; 17(1):73-95, 2008.
[25] Gyawali R, Ibrahim SA. Effects of hydrocolloids and processing conditions on acid whey production with reference to Greek yogurt. Trends in Food Science & Technology; 56:61-76, 2016.
[26] Gao Z, Fang Y, Cao Y, Liao H, Nishinari K, Phillips GO. Hydrocolloid-food component interactions. Food Hydrocolloids; 68:149-56, 2017.
[27] Rawdkuen S, Benjakul S. Whey protein concentrate: Autolysis inhibition and effects on the gel properties of surimi prepared from tropical fish. Food Chemistry; 106(3):1077-1084, 2008.
[28] Wiriyaphan C, Chitsomboon B, Roytrakul S, Yongsawadigul J. Isolation and identification of antioxidative peptides from hydrolysate of threadfin bream surimi processing byproduct. Journal of Functional Foods; 5(4):1654-1664, 2013.
[29] Chen H, Kong B, Guo Y, Xia X, Diao X, Li P. The effectiveness of cryoprotectants in inhibiting multiple freeze-thaw-induced functional and rheological changes in the myofibrillar proteins of common carp (*Cyprinus carpio*) surimi. Food Biophysics; 8:302-310, 2013.
[30] Zhang B, Hao GJ, Cao HJ, Tang H, Zhang YY, Deng SG. The cryoprotectant effect of xylooligosaccharides on denaturation of peeled shrimp (*Litopenaeus vannamei*) protein during frozen storage. Food Hydrocolloids; 77:228-237, 2018.
[31] Wang H, Wu J, Betti M. Chemical, rheological and surface morphologic characterisation of spent hen proteins extracted by pH-shift processing with or without the presence of cryoprotectants. Food chemistry; 139(1-4):710-719, 2013.