مجلهٔ ترویجی بوم‌شناسی منابع آبی
دورهٔ ۵، شمارهٔ ۱، بهار و تابستان ۱۴۰۰

کاربرد یخ در هندلینگ، نگهداری و فرآوری آبزیان

ذبیح اله بهمنی

پژوهشکدهٔ اکولوژی خلیج‌فارس و دریای عمان، مؤسسهٔ تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بندرعباس، ایران

zabihbahmani@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۳/۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۵/۲۶ تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۳/۱۶

چکیده

ارزش و اهمیت فرآورده‌های شیلاتی به لحاظ داشتن مواد مغذی از قبیل اسیدهای چرب غیراشباع امگا- ۳ و درصد پروتئین بالا بر کسی پوشیده نیست اما این فرآورده‌ها به‌واسطهٔ داشتن همین مواد مغذی ارزشمند، بسیار فسادپذیر هستند و باید فرآیندهای هندلینگ، فرآوری و نگهداری آن‌ها با سرعت، دقت و ظرافت خاصی صورت گیرد تا کیفیت و ماندگاری آن‌ها افزایش یابد. لازمهٔ این امر استفاده از روش‌های مختلف سردسازی به‌ویژه یخ گذاری که سریع‌ترین، ارزان‌ترین و ساده‌ترین روش نگهداری است؛ است. استفاده از یخ به دلیل ارزان بودن، قابل‌حمل بودن، کاهش دمای نگهداری ماهی و شستشوی ماهی که با ذوب شدن یخ اتفاق می‌افتد باعث حذف آلودگی‌های سطحی و حفظ رطوبت ماهی می‌شود و درنتیجه موجب حفظ کیفیت ماهی و تأخیر در فرآیندهای فساد آنزیمی، میکروبی و شیمیایی می‌شود در این مقاله به تشریح کاربرد یخ در مراحل مختلف هندلینگ، فرآوری و نگهداری آبزیان پرداخته شده است.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی کیفیت، فرآوری آبزیان، نگهداری، هندلینگ، یخ

مقدمه

ماهی به‌عنوان یک منبع ارزشمند پروتئین در رژیم غذایی انسان مطرح شده است. مصرف ماهی و آبزیان به دلیل ارزش غذایی بالا ازجمله اسیدهای چرب غیراشباع و اسیدهای آمینهٔ ضروری، اهمیت زیادی در تغذیهٔ انسان دارد و مصرف آن‌ها در

پیشگیری و کاهش بیماری‌های همچون بیماری‌های قلبی- عروقی مؤثر می‌باشند (Shahidi and Botta, 1994)، اما ماندگاری کوتاه‌مدت این محصولات از نکات قابل‌توجه است. ماهی و سایر آبزیان پوسته‌دار (Shell fish) بسیار فسادپذیرند و دلیل اصلی این فسادپذیری و عدم ماندگاری درازمدت از یک‌سو خواص ذاتی ماهی (فعالیت آنزیمی شدید در ماهی) و از سوی دیگر عدم توجه به جابجایی و نگهداری آبزیان در مراحل بعد از صید است (رضوی شیرازی، ۱۳۸۰). به همین خاطر به‌منظور در دسترس قرار دادن ماهی سالم و باکیفیت، حفظ آن از اهمیت زیادی برخوردار است. عملیات صید، حمل‌ونقل و نگهداری آن تا عرضه به بازار و درنهایت مصرف باید بسیار موردتوجه قرار گیرد. بدین منظور سه راه عمده برای جلوگیری از کاهش سریع کیفیت در ماهی شامل مراقبت، تمیزی (به‌منظور کاهش منابع آلودگی‌های ثانویه) و سرد کردن (به‌منظور کاهش فعالیت آنزیمی و میکروبی) وجود دارد (Graham *et al*., 1992). یخ گذاری رایج‌ترین روش حفاظت از ماهی است. استفاده از یخ آسان‌ترین و ارزان‌ترین روش کارآمد کاهش درجهٔ حرارت ماهی بوده و شیوهٔ مناسبی در حمل و نگهداری موقت ماهی روی شناور است (Balachandran, 2001). درعین‌حال نگهداری موقت ماهی در یخ با مجموعه‌ای از تغییرات کیفی مواجه است که میزان این تغییرات در ماهیان چرب بیشتر از ماهیان کم‌چرب است (FAO, 1986). در اثر این تغییرات، کاهش قابل‌ملاحظه‌ای در خصوصیات کیفی ماهی ایجاد می‌گردد. اگرچه این تغییرات به‌تدریج ظاهر می‌گردند ولی سرعت پیشرفت آن‌ها متفاوت بوده و تحت تأثیر مستقیم فرآیندهای پس از صید قرار دارند. ازاین‌رو عدم توجه به شرایط نگهداری پس از صید می‌تواند به‌سرعت کیفیت محصول را تغییر داده و در ادامه منجر به ظهور علائم فساد گردد. به‌طورکلی عوامل متعددی نظیر شکل محصول شامل ماهی کامل، فیله یا ماهی چرخ شده (Grantham, 1981; Undeland, 2001)، گونهٔ ماهی (Slabgy and Hultin, 1983)، لعاب یخی (Josephson *et al*., 1985)، نحوهٔ عمل‌آوری، میزان مواد افزودنی و غلظت پراکسیدان‌ها یا آنتی‌اکسیدان‌ها (Frankel, 1996)، تغییرات فصل و شرایط فیزیولوژیکی (Tall and Harris, 1995)، خون ماهی (Rehbein, 1988)، اندازهٔ ماهی (Silva and Ammerman, 1993)، جنس ماهی (Fuselli *et al*., 1996)، ترکیبات غذایی، محل ماهیگیری (Haard, 1992)، روش صید و شرایط نگهداری (Hedges *et al*., 2001)، شیوهٔ حمل‌ونقل (Balachandran, 2001)، زمان جمود نعشی (Boknaes *et al*., 2001; Erikson, 2001) و درنهایت عدم یخ گذاری یا تأخیر در یخ گذاری سبب کاهش ارزش محصول پس از صید و تسریع فساد کیفی آن می‌شوند (Alfred, 1998). روش ایدئال یخ گذاری، یخ گذاری لایه‌ای و به‌طور متناوب ماهی و یخ در جعبه‌های عایق به نسبت یک‌به‌یک (W/W) است. در این حالت دمای بدن ماهی در مدت ۲ تا ۳ ساعت به ۱ تا ۲ درجهٔ سلسیوس می‌رسد. همان‌طور که می‌دانید ذوب شدن یک گرم یخ به ۸۰ کالری انرژی نیاز دارد که این انرژی از بدن ماهی که در تماس با یخ است گرفته می‌شود و باعث کاهش دمای بدن ماهی می‌شود که این کاهش دما:

۱)باعث کند شدن تقریباً همهٔ تغییرات آنزیمی می‌شود

۲) باعث مرگ ۵۰ تا ۶۰ درصد باکتری‌های مزوفیل می‌شود

۳) موجب کند شدن فعالیت دیگر باکتری‌ها که سرمادوست (Psychrophilic) و یا سرما گرا (Psychrotrophic) هستند؛ می‌شود که نتیجهٔ ترکیب سه اثر بالا، باعث تأخیر در فساد ماهی تا زمانی که در یخ هستند؛ می‌شود. طی مدت نگهداری ماهی در یخ تعداد باکتری‌های حساس مزوفیل کاهش می‌یابد. باکتری‌های سرما گرا به علت سازگار شدن آن‌ها در دمای پایین محیط، زنده می‌مانند درنتیجه به‌تدریج جمعیت آن‌ها زیاد می‌شوند که به ۶ یا ۸ روز زمان نیاز دارد تا جمعیت آن‌ها به 1×10^{6} CFU/g یا بیشتر برسد که تا آن زمان ماهی به مرحلهٔ فساد اولیه رسیده است. ازنظر کیفی، گزینشی از فلور باکتری‌های ماهی حین نگهداری در یخ وجود دارد. صرف‌نظر از ترکیب فلور باکتریایی اولیه، باکتری‌های خانوادهٔ سودموناس و آلترموناس در زمان فساد ظاهر می‌شوند و این بدان علت است که اغلب باکتری‌های سرما گرا به گروه سودموناس و آلترموناس تعلق دارند. در مورد ماهیان مناطق گرمسیری که در یخ نگهداری می‌شوند باکتری‌های سرما گرا هستند که موجب فساد می‌شوند نه سرمادوست‌ها. جمعیت باکتری‌های سرما گرا در ماهیان تازه خیلی کم است که به سهولت به رشد

در دمای پایین طی نگهداری در یخ عادت کرده و سریع رشد کرده و باعث فساد ماهی می‌شوند. علاوه بر این باکتری‌های سرما گرا در مقایسه با باکتری‌های سرمادوست سریع‌تر تکثیر می‌شوند (بهمنی، ۱۳۸۷).

۱-محاسبهٔ میزان یخ موردنیاز برای خنک کردن ماهی

مقدار یخ موردنیاز برای خنک کردن ماهی از دمای اولیه تا دمای نگهداری نهایی را می‌توان از معادلهٔ زیر محاسبه کرد (FAO, 1981).

۱) گرمای گرفته‌شده توسط یخ = گرمای ازدست‌رفته ماهی

$$Mi = \frac{(Mf)\,(Cpf)\,(ti-t_f)}{(Li)}$$

Mi: مقدار یخ موردنیاز (Kg)

Mf: مقدار ماهی (Kg)

Li: گرمای نهان ذوب یخ (۸۰kcal/kg)

Cpf: گرمای ویژه ماهی (kcal/kg ^{o} C)

Ti: دمای اولیهٔ ماهی (^{o} C)

Tf: دمای نهایی ماهی ($0^{o}C$)

گرمای ویژه ماهی‌های کم‌چرب (Lean fish) ۰/۸ kcal/kg ^{o} C است و درصورتی‌که ترکیبی از گونه‌ها (گونه‌های چرب یا کم‌چرب) باشد باید گونه‌های کم‌چرب مبنا قرار گیرند و از این مقدار استفاده شود:

$$Cpf = ۰/۵\ Xl + ۰/۳\ Xs + ۱\ Xw$$

Cpf : گرمای ویژه ماهی ($kcal/kg^{o}C$)

Xl : مقدار چربی ماهی (٪)

Xs : مقدار مادهٔ جامد ماهی (٪)

Xw : مقدار آب ماهی (٪)

۲-میزان یخ مصرفی بر اساس محتوای چربی ماهی

مثال ۱: محاسبهٔ مقدار یخ موردنیاز برای سرد کردن ۱۰۰ کیلوگرم ماهی (کاد) با چربی یک درصد، ۱۹ درصد مواد جامد و ۸۰ درصد آب با دمای اولیه ۲۰ درجهٔ سلسیوس

$$Cpf = (۰/۵\times۰/۰۱) + (۰/۳\times۰/۱۹) + (1\times۰/۸) = ۰/۸۶۲\ kcal/kg\ ^{o}C$$

$$Mi = \frac{۱۰۰ \times ۰/۸۶۲ \times (۲۰-۰)}{۸۰} = ۲۱/۵۵\ kg\ of\ ice$$

مثال ۲: محاسبهٔ مقدار یخ موردنیاز برای سرد کردن ۱۰۰ کیلوگرم ماهی (هرینگ) با چربی بیست‌ویک درصد، ۱۹ درصد مواد جامد و ۶۰ درصد آب با دمای اولیهٔ ۲۰ درجهٔ سلسیوس

$$Cpf = (۰/۵\times۰/۲۱) + (۰/۳\times۰/۱۹) +(۱\times۰/۶) = ۰/۷۶۲ \text{ kcal/kg } ^oC$$

$$Mi = \frac{۱۰۰ \times ۰/۷۶۲ \times (۲۰-۰)}{۸۰} = ۱۹/۰۵ \text{ kg of ice}$$

با توجه به اختلاف بسیار کم در مقدار یخ موردنیاز جهت سردسازی ماهیان با محتوی چربی متفاوت، بهتر است مبنای محاسبهٔ ماهیان با محتوی چربی کم باشد (FAO, 1981).

میزان گرمای نهان ذوب یخ (دمای لازم برای تغییر حالت‌جامد به مایع)، ۸۰Kcal/kg یا ۳۳۴ Kj/kg است. همچنین گرمای ویژه آب (مقدار گرمایی است که واحد جرم برای افزایش یک درجه دما به آن نیاز دارد) ۱ Kcal است که برای دیگر مواد کمتر از یک است.

جدول ۱. گرمای ویژه آب و ماهی

ماده	گرمای ویژه (Kcal/Kg)
آب	حدود ۱
ماهی تازه	حدود ۰/۹۶ معمولاً ۱ هم می‌گیرند
ماهی منجمد	حدود ۰/۴
هوا	حدود ۰/۲۵
بیشتر فلزات	حدود ۰/۱

گرمای ویژه نشان می‌دهد که چقدر گرما باید از یک جسم یا ماده گرفته شود تا آن جسم یا ماده سرد شود. به‌عبارتی گرمای گرفته‌شده از ماده (Kcal) = وزن ماده (Kg) × تغییرات دما (°C) × گرمای ویژه (Kcal/Kg)

مثال ۳: اگر بخواهیم ۱۰ کیلوگرم ماهی با دمای ۲۵ درجهٔ سلسیوس را به دمای صفر برسانیم چه میزان یخ نیاز است؟

ابتدا میزان گرمایی که باید از ماهی گرفته شود را محاسبه می‌کنیم:

گرمای گرفته‌شده از ماهی (Kcal) = ۱۰× (۲۵-۰) × ۱= ۲۵۰ Kcal

ازآنجایی‌که گرمای نهان ذوب یخ ۸۰ Kcal/Kg است بنابراین ۳/۱۲۵ Kg =۸۰÷۲۵۰

این عدد به لحاظ تئوری درست است اما به لحاظ عملی عوامل زیر را در نظر نگرفته است:

الف: همیشه مقداری یخ توسط دمای محیط ذوب می‌شوند؛ بنابراین جهت کاهش دمای ماهی مورداستفاده قرار نمی‌گیرد. برای رفع این مشکل باید از انبار یا جعبه‌های عایق شده استفاده شود.

ب: نحوهٔ قرارگیری ماهی در یخ

ج: سرعت سرد شدن ماهی به چه صورت است

د: مدت‌زمانی که سرمای ماهی باید حفظ شود

۳-روش‌های ذخیره‌سازی ماهی در یخ

۳-۱- ذخیره‌سازی به‌صورت توده‌ای (Bulking)

۳-۲- ذخیره‌سازی به‌صورت قفسه‌ای (Shelving)

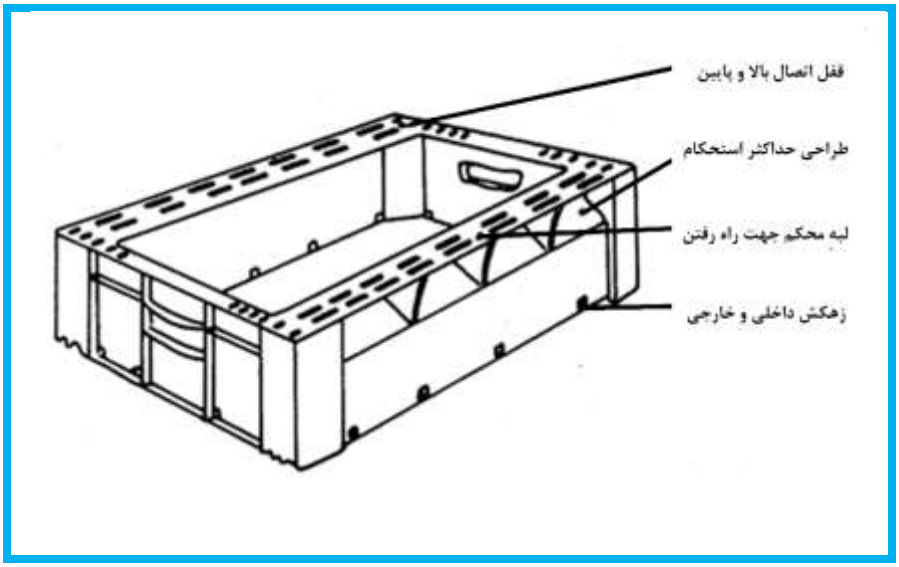
۳-۳ ذخیره‌سازی داخل جعبه (Boxing)

مقدار یخ موردنیاز برای سرد کردن ماهی تا حد زیادی به درجهٔ حرارت منطقهٔ صید و طول مدت نگهداری بستگی دارد؛ اما به‌طورکلی در نواحی سردسیر و معتدل نسبت ماهی به یخ را ۲ به ۱ و در نواحی گرم و حاره ۱ به ۱ در نظر می‌گیرند. این نسبت باید با توجه به نیاز به یخ برای سرد کردن محیط و همچنین نفوذ گرما از خارج و نحوهٔ ایزولاسیون اتاق نگهداری محاسبه گردد (رضوی شیرازی، ۱۳۸۰).

در کل دو نوع جعبهٔ پلاستیکی برای جابجایی و نگهداری ماهی استفاده می‌شود:

۳-۳-۱ جعبه‌های پشته‌ای (Stack)

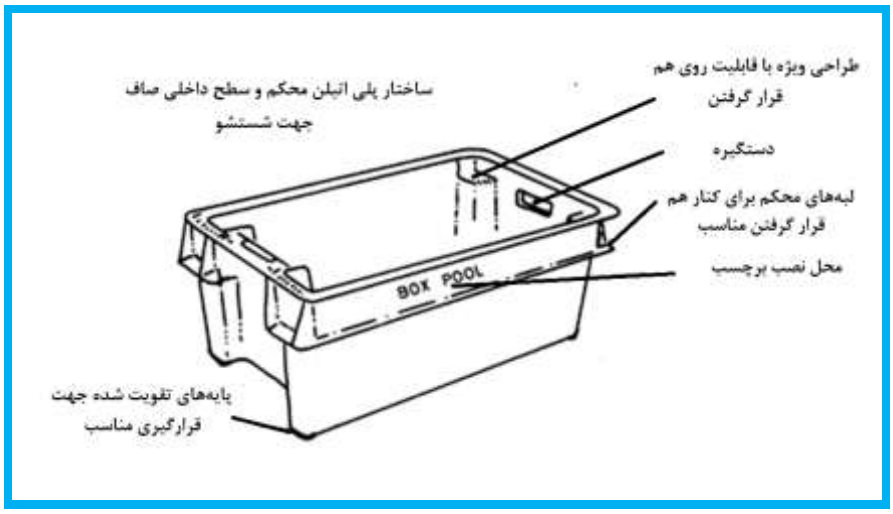
جعبه‌های پشته‌ای (شکل ۱) به لحاظ کارآمدی نسبت به جعبه‌های لانه‌سازی کارآمدتر اما فضای بیشتری را اشغال می‌کنند. همچنین به علت داشتن زوائد کناری در هم قفل‌شده و از واژگون شدن جعبه‌ها جلوگیری می‌شود.



شکل ۱: جعبه پشته‌ای (Stack)

۳-۳-۲ جعبه‌های لانه‌سازی (تودرتو) Stack/Nesting boxes

جعبه‌های لانه‌سازی (شکل ۲) نسبت به جعبه‌های پشته‌ای حدود ۶۰ درصد فضای کمتری دارند و جابجایی آن‌ها باید به‌صورت دستی انجام شود. از مزایای این نوع جعبه‌ها این است که به‌طور دقیق روی‌هم قرار می‌گیرند و آسیبی به آبزیان داخل آن نمی‌رسد (FAO, 1981).



شکل ۲. جعبه لانه‌سازی

۴-فواید استفاده از جعبه‌ها

برای جلوگیری از کاهش کیفیت به خاطر تأخیر در یخ گذاری سرعت هندلینگ بسیار ضروری است. استفاده از یخ جهت سردسازی اولیه می‌تواند سرعت کم هندلینگ را تا حدودی جبران کند و روش جابجایی که ممکن است متضمن سردسازی ماهی با یخ تا دمای صفر درجهٔ سلسیوس باشد و این دما را تا زمان تحویل حفظ می‌کند. طراحی جعبه‌ها باید به‌گونه‌ای باشد که نگهداری و جابجایی آن‌ها به سهولت انجام پذیرد جعبه‌ها به‌عنوان یک کارخانهٔ کوچک سردسازی مکانیکی باید عایق باشد و دمای بین ۱ تا ۳- درجهٔ سلسیوس را به‌خوبی حفظ نمایند.

۵-فواید عمدهٔ مصرف یخ در نگهداری ماهی تازه

باوجود روش‌های مختلف برای سردسازی، یخ همچنان برای صنعت ماهیگیری ضروری باقی‌مانده است. یخ در همه‌جا مورداستفاده قرار می‌گیرد. در شناورهای صیادی، برای نگهداری و حمل‌ونقل، در حین فرآوری و در ماهی‌فروشی‌ها، آنچه یخ را ارزشمند می‌کند خصوصیات و رفتار منحصربه‌فرد آن است (بهمنی، ۱۳۸۷). یخ محصولات دریایی را تازه و مرطوب نگه می‌دارد و دمایی پایین و ثابت را تضمین می‌کند. ظرفیت خنک‌سازی بالایی دارد و ذوب یخ موجب تنظیم خود به خودی دما می‌شود. یک روش خنک‌کنندهٔ قابل‌حمل است. مادهٔ اولیه برای تولید یخ به فراوانی وجود دارد و استفاده از آن نیز آسان است. آلودگی‌های سطحی مثل باکتری‌ها، خون و مواد لزج را از سطح بدن ماهی شسته و درنتیجه آلودگی سطحی را نیز تا حد زیادی کاهش می‌دهد. وقتی‌که درجهٔ حرارت پایین آورده شود؛ فعالیت‌های آنزیمی کاهش می‌یابند و سردسازی رشد میکروارگانیسم‌ها را کند می‌کند. به‌این‌ترتیب سرما و یخ برای ماهی‌ها و سایر محصولات دریایی اثر نگهدارنده دارد. هر چه دما پایین‌تر بیاید این اثر بیشتر است (Bahmani *et al.*, 2011 and 2014). وقتی درجهٔ حرارت بین ۵ تا ۱۰ درجهٔ سلسیوس باشد؛ به ازای هر درجه کاهش دما، ۱۰ درصد به مدت‌زمان ماندگاری محصول افزوده می‌شود. درحالی‌که در دمای صفر تا ۱- درجهٔ سلسیوس، مدت‌زمان ماندگاری ۵۰ تا ۱۰۰ درصد افزایش می‌یابد. بر اساس تحقیق Tulsner، مدت‌زمان ماندگاری ۲/۵ روز در ۱۰ درجهٔ سلسیوس و ۵/۵ روز در ۴/۴ درجهٔ سلسیوس و ۱۴ روز در دمای صفر درجهٔ سلسیوس است (روحانی، ۱۳۸۴). آب برای تولید یخ باید تمیز و عاری از میکروب باشد و کیفیت آب آشامیدنی را دارا باشد تا ماهی را ازنظر میکروبی آلوده نکند. آب دریا نمی‌تواند کیفیت آب آشامیدنی را داشته باشد اما برای تولید یخ آب دریا نیز باید به‌اندازهٔ کافی تمیز و

عاری از میکروب باشد تا محدودیتی برای مصرف ماهی به وجود نیاید؛ بخصوص که این یخ برای سرد کردن ماهی شکم خالی و یا فیله شده مورداستفاده قرار می‌گیرد. معمولاً یخ به شکل‌های مختلف در دسترس مصرف‌کنندگان قرار می‌گیرد:

۵-الف- یخ پودر (Powder ice)

می‌تواند از آب شیرین یا شور تولید شود. یخ تولیدشده از آب شیرین خیلی خشک و دمای آن ۶- تا ۱۲- درجهٔ سلسیوس و نسبتاً سرد است. این به مفهوم آن است که چنانچه در تماس نزدیک با ماهی قرار گیرد خطر یخ‌زدگی ماهی زیاد است؛ زیرا قطعات این یخ ریز است (ضخامت حدود ۲ میلی‌متر و اندازه‌ای کوچک‌تر از یک سانتی‌متر) و چنانچه به‌صورت متراکم روی ماهی ریخته شود می‌تواند به آن بچسبد و یک پوسته تشکیل دهد. استفاده از این نوع یخ آسان است؛ زیرا قطعات آن به هم نمی‌چسبد و به‌خوبی جریان پیدا می‌کند. یخ پودر تولیدشده از آب دریا دارای خصوصیات شبیه یخ شیرین است؛ اما به هم می‌چسبد و به قطعات بزرگ‌تر تبدیل می‌شود. با توجه به قابلیت زیاد سرما سازی، این نوع یخ بخصوص برای سردسازی سریع ماهی‌هایی که از آب‌های گرم مناطق حاره صید می‌شوند، مناسب است (FAO, 1981).

۵-ب- یخ پولکی (Flak ice)

این نوع یخ با دمای حدود ۰/۵- درجهٔ سلسیوس، در همه‌جا می‌تواند مورداستفاده قرار گیرد. با توجه به درجهٔ برودت، خطر سوختگی در اثر سرما کم و چون این نوع یخ فاقد گوشه‌های تیز است احتمال آسیب‌های فیزیکی به ماهی وجود ندارد. یخ پولکی اغلب در بازارهای ماهی برای ایجاد بستری از یخ و پوشاندن کامل ماهی در جعبه‌های حمل فیله ماهی و غیره مورداستفاده قرار می‌گیرد (FAO, 1981).

۵-ج- یخ خشک (Dry ice)

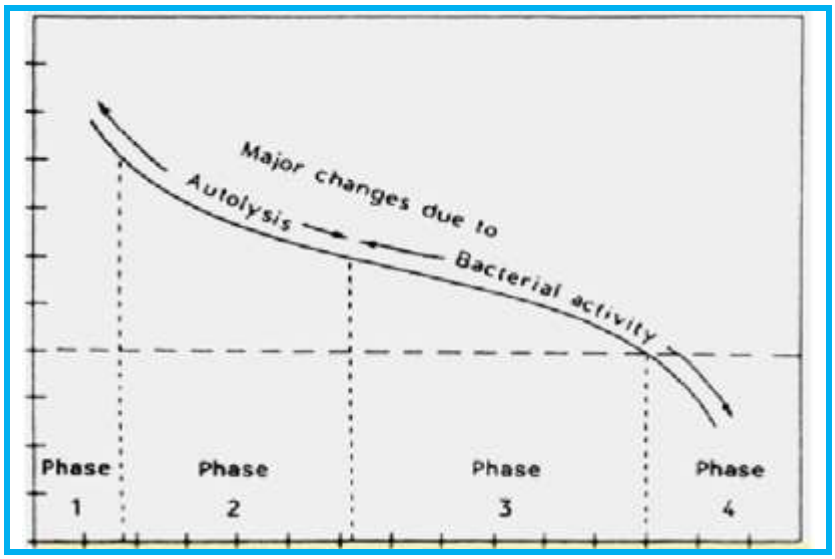
یخ خشک از آب تولید نمی‌شود بلکه از دی‌اکسید کربن تولید می‌گردد. در فرایند تولید یخ خشک، منقبض نمودن دی‌اکسید کربن تحت‌فشار و پیش سرد شده در یک فضا، منجر به تشکیل Co_2 جامد می‌گردد و با جذب گرما مجدداً به گاز Co_2 تبدیل می‌شود (FAO, 1981).

۵-د- یخ فالوده‌ای

در حال حاضر استفاده از این نوع یخ، که عناوین مختلفی مانند یخ مایع و یا آبکی به آن اطلاق می‌شود متداول است. این یخ از آب دریا، که در دماهای حدود ۵- تا ۹- درجهٔ سلسیوس به شکل مخلوطی از یخ غیر متبلور، آب دریا و یا به‌عبارت‌دیگر یخ آب و یا برف آب تبدیل می‌شود تولید می‌گردد. این یخ از میلیون‌ها کریستال بسیار ریز که اندازهٔ آن‌ها به‌سختی از ۰/۲۵ تا ۰/۵ میلی‌متر بزرگ‌تر است تشکیل می‌شود. این کریستال‌ها فاقد هرگونه کنج و گوشهٔ تیز که باعث وارد آمدن صدمه به ماهی شود هستند. یخ مایع مستقیماً ماهی را می‌پوشاند و برای سردسازی ماهی بدون ایجاد سوختگی، تماس کامل با آن پیدا می‌کند. با استفاده از این یخ از رشد باکتریایی جلوگیری می‌شود و ساختار فیله در بهترین وضعیت باقی می‌ماند (روحانی، ۱۳۸۴).

۶-فساد در آبزیان

فساد ماهی و صدف داران وابسته به درجهٔ حرارت و زمان است. در رابطه با این نوع از غذاها سه نوع مهم فساد (شکل ۳) وجود دارد که عبارت‌اند از فساد آنزیمی (اتولیز)، باکتریایی و شیمیایی شامل هیدرولیتیک و اکسیداتیو.



شکل ۳. مراحل وقوع فساد در آبزیان

فساد اتولیتیک یا فساد خود به خودی بلافاصله بعد از مرگ ماهی آغاز شده که بسیار سریع بوده و به‌وسیلهٔ آنزیم‌های موجود در روده و عضلات ماهی ایجاد می‌شود. آنزیم‌های هضمی مخصوص در رودهٔ ماهی‌هایی که درست قبل از صید به‌خوبی تغذیه شده باشند فعال هستند. عمل آنزیم‌های روده منجر به خود هضمی اندام‌های داخلی و دیوارهٔ شکمی ماهی می‌شود. باکتری‌های مولد فساد در گوشت پخش می‌شوند. این عمل باعث ایجاد یک ضایعهٔ واضح و مشهود به‌اصطلاح پارگی شکم می‌شود. این ضایعه در ماهی‌های مختلف نام‌های متفاوتی دارند؛ Burn belly در ماهی کاد، Belly burst در ماهی کاپلین (Capelin) و هرینگ (شاه‌ماهی).

فساد باکتریایی، ناشی از فساد سریع ماهی از فعالیت باکتری‌های آبششی و باکتری‌های دستگاه گوارشی در ماهی سالم و طبیعی می‌شود. باکتری‌های سطحی ماهیان آب سرد (سرد آبی) عمدتاً سایکروتروف هستند. این ارگانیسم‌ها می‌توانند در صفر درجه سانتی‌گراد (۳۲ ^{o}F) زنده بمانند و به‌سرعت در حرارت‌های طبیعی نگهداری گوشت و فرآورده‌های لبنی تکثیر شوند. اکثر تغییرات ارگانولپتیک نامطلوب ایجادشده در ماهی، ناشی از رشد باکتریایی است. تأکید قانونی زیادی بر روی باکتری‌های مهم محیط دریایی ازنظر سلامت عمومی وجود دارد. این‌ها مشکلات اولیهٔ آلودگی آب نزدیک ساحل می‌باشند. اکثر ماهیان صیدشده از بندرها و آب‌های غیر آلوده، باکتری‌های بیماری‌زای کمتری دارند. به‌طورکلی آلودگی با ارگانیسم‌هایی چون سالمونلا و استافیلوکوک‌ها آلودگی‌های ثانویه بوده و از شرایط غیربهداشتی انتقال و فرآوری نتیجه می‌گردد. گونه‌های خاص ویبریوی پاتوژن برای انسان در محیط دریایی غیر آلوده و در ماهیان سالم وجود دارند. کلستریدیوم بوتولینوم تیپ E در مقادیر کم در رسوبات کف وجود دارد. رشد باکتری‌های خانوادهٔ کلستریدیوم و متعاقب آن تولید توکسین در ماهی اکثراً ناشی از خطا و اشتباه در انتقال و مراحل فرآوری است. معمولاً بیماری‌های با منشاء غذایی ناشی از پاتوژن‌های با منشأ دریایی با مصرف صدف داران و اغذیهٔ دریایی خام، دود داده، تخمیری یا نمک‌سود اتفاق می‌افتد. یک خطر مستقیم برای سلامت انسان در ارتباط با فساد باکتریایی و درجهٔ حرارت نامناسب ذخیره و نگهداری ماهی، تولید مقادیر زیاد و کشندهٔ هیستامین در گوشت ماهی‌های خانواده تون ماهیان (Scombriod) مانند بونیتو (Bonito) و ماکرل (Mackerel) و بعضی از ماهی‌های دیگر مانند ماهی (Mahi mahi)، ساردین (Sardine)، آنچووی (Anchovies) و شاه‌ماهی است. هیستامین با جداسازی گروه کربوکسیل (دکربوکسیلاسیون) اسیدآمینهٔ هیستیدین موجود در این ماهیان تولید می‌شود.

صدف‌داران (سخت‌پوستان و نرم‌تنان) واجد مقادیر بسیار بیشتری اسیدآمینهٔ آزاد نسبت به اغلب ماهی‌های پهن (Flounder) هستند و این باعث تسهیل رشد و فساد باکتریایی می‌شود. ازآنجاکه میگو اندکی بعد از صید تلف می‌شود، تغییرات کیفی در آن زودتر از سخت‌پوستانی که به‌صورت زنده نگهداری می‌شوند، رخ می‌دهد. فساد نرم‌تنان در مرحلهٔ اول به دلیل حضور سودوموناس، پروتئوس، کلستریدیوم، آئروباکتر (Aerobacter) و اشرشیاکلی و در مرحلهٔ دوم به‌وسیلهٔ استرپتوکوک‌ها، لاکتوباسیل‌ها و مخمرها ایجاد می‌شود و درنهایت فساد شیمیایی که شامل تند شدن (اکسیداتیو)، پیشرفت تند شدن در ماهی ناشی از اکسیداسیون چربی‌های موجود در بافت‌ها است رخ می‌دهد. یخ گذاری، انجماد و نمک زدن در مدت نگهداری، فساد را به تأخیر می‌اندازد؛ اما حضور چربی در گوشت درنهایت تا حدی باعث فساد خواهد شد. در شاه‌ماهی نگهداری شده در ۴-۲ ^{o}C (۳۹/۲-۳۵/۶ ^{o}F) مقدار پراکساید طی دو روز دو برابر شده و بعد از ۶ روز ۴ برابر می‌شود. ماهیان روغنی چون شاه‌ماهی، ماکرل و قزل‌آلا مستعد تند شدن بوده و درنتیجه آن طعم Fishy (آمونیاکی) در غذاهای دریایی تولید می‌شود و اما فساد هیدرولیتیک یا تندی هیدرولیتیک، که نخستین مرحلهٔ آن، شکسته شدن تری گلیسرید به اسیدهای چرب و گلیسرول است و این عمل ممکن است در اثر لیپازهای میکروبی یا لیپازهای با منشأ داخلی ایجاد گردد. شکسته شدن اتصال بین اسیدهای چرب و گلیسرول باعث تولید اسیدهای چرب آزاد می‌شود به همین جهت ماهیت طعم و بوی نامطبوعی (Off–flavor) که در اثر هیدرولیز ایجاد می‌شود؛ به ترکیب اسید چرب‌تری گلیسرید بستگی خواهد داشت (رضایی و همکاران، ۱۳۸۲). افزایش فرآورده‌های متابولیکی به‌واسطهٔ میکرو ارگانیزم‌هایی است که به تعداد زیاد در داخل محصول رشد می‌کنند. آن‌ها بو و مزه محصول را تغییر می‌دهند و حتی می‌توانند سمی بشوند. نمونهٔ این فرآورده‌های متابولیکی عبارت‌اند از تری متیل آمین (TMA)، اسیدآمینه‌های آزاد، آمونیاک و ترکیبات ازته فرار (TVB-N).

با توجه به افزایش میزان صید آبزیان (۶۰۰ هزار تن) در سال‌های اخیر و ضرورت حفظ کیفیت آن‌ها (سازمان شیلات ایران، ۱۳۹۸)، ازلحاظ حفظ ارزش غذایی و سلامتی محصول نهایی و همچنین کاهش ضایعات، به‌کارگیری شیوه‌های بهینه و نوین در جابجایی و حمل‌ونقل ماهیان از مرحلهٔ صید تا حمل به واحدهای فرآوری یا بازار مصرف، بدیهی به نظر می‌رسد ماهی به خاطر وجود میزان بالای اسیدهای چرب غیراشباع، رطوبت نسبی بالا، pH خنثی، بار میکروبی نسبتاً بالا و تحمل ضربات و فشارهای فیزیکی هنگام صید و پس‌ازآن، در مقایسه با سایر مواد غذایی دارای عمر ماندگاری پائینی است. هندلینگ آبزی پس از صید ازجمله مهم‌ترین مراحل تأثیرگذار بر حفظ تازگی و کیفیت و کاهش ضایعات است. به‌طورکلی آماده‌سازی ماهیان پس از صید تا رسیدن به واحدهای فرآوری شامل دو مرحلهٔ اصلی نگهداری اولیه و تخلیهٔ ماهیان از شناورهای صیادی است. جهت نگهداری و جابجایی ماهیان به‌صورت تازه روش‌های مختلفی بکار می‌رود که می‌توان به روش‌هایی چون یخ گذاری ماهیان در شناورها، استفاده از یخ مایع، استفاده از مخلوط یخ و آب و انجماد ماهی در شناور اشاره نمود. در حال حاضر هندلینگ ماهیان در ایران از وضعیت مطلوبی برخوردار نیست به‌طوری‌که اغلب واحدهای صیادی از روش‌های سنتی جهت جابجایی و تخلیهٔ ماهیان استفاده نموده که موجب افزایش میزان ضایعات و از سویی کاهش کارایی بهره‌برداری از این آبزیان و کاهش کیفیت محصول نهایی و وارد نمودن ضررهای اقتصادی پنهانی می‌شوند. لذا یکی از مهم‌ترین راه‌حل‌ها برای رهایی از این معضلات و بهره‌وری بیشتر از آبزیان صیدشده، حفظ زنجیرهٔ سرد و رعایت اصول اساسی در مراحل هندلینگ، نگهداری و فرآوری ماهیان شامل نگهداری صحیح ماهیان پس از صید در دریا و تخلیهٔ مناسب در اسکله‌ها و استفاده از روش‌های مکانیزه در آماده‌سازی است. استفاده از یخ به دلیل ارزان بودن، قابل‌حمل بودن، کاهش نسبتاً سریع دمای بدن ماهی و شستشوی ماهی که با ذوب شدن یخ اتفاق می‌افتد؛ باعث حذف آلودگی‌ها و حفظ رطوبت ماهی می‌شود و درنتیجه موجب حفظ کیفیت ماهی و تأخیر در فساد می‌شود. هر چه نوع یخ مورداستفاده سطح تماس بیشتری داشته باشد در حفظ کیفیت ماهی عملکرد مناسب‌تری خواهد داشت. به‌عنوان‌مثال یخ فالوده‌ای نسبت به یخ پولکی و یا حتی پودری، در حفظ کیفیت ماهی موثرتر خواهد بود.

توصیهٔ ترویجی

بر اساس موارد یادشده استفاده از یخ جهت حفظ کیفیت ماهی و سایر آبزیان طی فرایندهای هندلینگ، نگهداری و فرآوری آبزیان امری ضروری است که در این میان یخ مایع به علت شرایط نفوذ و احاطه کردن مناسبی که دارد فرآیند سردسازی را نسبت به دیگر انواع یخ‌ها بهتر انجام می‌دهد. مشکلی که مانع استفاده از این یخ می‌شود هزینهٔ تولید بالا است. باید در نظر گرفت که معادلات ذکرشده جهت محاسبهٔ میزان یخ برای سردسازی ماهی‌های نگهداری‌شده، در مکان‌های عایق مورداستفاده قرار گیرد و این معادلات برای فضاهای آزاد کاربرد ندارند. از طرفی با توجه به واقع شدن ایران در منطقهٔ گرمسیری و نیمه گرمسیری، میزان یخ موردنیاز به نسبت ۱ به ۱ (ماهی به یخ) توصیه می‌شود.

منابع

۱- بهمنی، ذ. و رضایی، م.، ۱۳۸۷. اثر تأخیر در یخ گذاری بر کیفیت ماهی کفال طلایی طی مدت نگهداری در یخچال. پایان‌نامه دورهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۹۵ صفحه.

۲- رضایی، م.، سحری، م. ع.، معینی، س.، صفری، م. و غفاری، ف.، ۱۳۸۲. مقایسهٔ کیفیت چربی کیلکای آنچوی (*Clupeonella engrauliformis*) در دو روش حمل و نگهداری موقت سرما. مجلهٔ علمی شیلات ایران، سال ۱۲، شمارهٔ ۳، صفحات ۱۰۸-۹۷.

۳- رضوی شیرازی، ح.، ۱۳۸۰. تکنولوژی فرآورده‌های دریایی. انتشارات نقش مهر، ۲۹۲ صفحه.

۴- روحانی، م.، ۱۳۸۴. ترجمه. سردسازی با یخ روشی مطمئن در حفظ کیفیت و تازگی. پایگاه اطلاع‌رسانی شیلات ایران.

۵- سازمان شیلات ایران، ۱۳۹۸. سالنامهٔ آماری سازمان شیلات ایران.

6- Alfred, A.K.A.N.K.W.A.S.A., 1998. The effect of delayed icing and gutting on the quality of freshwater Arctic Charr (Salvelinus alpinus L.). *Iceland: United Nation University-Fisheries Training Programe*.

7- Bahmani, Z.A., Rezai, M., Hosseini, S.V., Regenstein, J.M., Böhme, K., Alishahi, A. and Yadollahi, F., 2011. Chilled storage of golden gray mullet (*Liza aurata*). *LWT-Food Science and Technology*, *44*(9), pp.1894-1900.

8- Bahmani, Z., Rezaei, M., Hosseini, S.V., Hosseini, S.F., Alishahi, A., Ahmad, M. and Regenstein, J.M., 2014. Effect of delayed icing on the microbiological, chemical, and sensory properties of Caspian Sea golden grey mullet (*Liza aurata*). *Journal of Aquatic Food Product Technology*, *23*(6), pp.542-551.

9- Balachandran, K. K., 2001. *On board handling and presservation in post harvest technology of fish and fish product*. India. 439.

10- Boknes, N., Guldager, H.S., Sterberg, C. and Nielsen, J., 2001. Production of high quality frozen cod (*Gadus morhua*) fillets and portions on a freezer trawler. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, *10*(1), pp.33-47.

11- Erikson, u., 2001. *Rigor measurements*, in kestin S. C. Warriss P. D. *Farmed Fish Quality*, Oxford, Fishing News Books. 297.

12- FAO., 1981. Planning and engineering data: 1. *Fresh fish handling*. NO. 735. Rome

13- FAO.,1986. The production of fish meal and oil, FAO, *Fish Technical paper*. No. 142. Rome.

14- Frankel, E.N., 1996. Antioxidants in lipid foods and their impact on food quality. *Food chemistry*, *57*(1), pp.51-55.

15- Fuselli, S.R., Almandós, M.E., Ciarlo, A.S., Boeri, R.L. and Giannini, D.H., 1996. The influence of sexual maturity, sex and size on quality aspects of frozen Argentine hake (*Merluccius hubbsi*). *Journal of Aquatic Food Product Technology*, *5*(1), pp.81-94.
16- Graham, J., Johnston, W.A. and Nicholson, F.J., 1993. [Ice in fisheries].[Spanish]. *FAO*.
17- Grantham, G. J.,1981. Minced Fish Technology: A Review, Rome. *FAO Fisheries Technical Paper* No. 216.
18- Haard, N.F., 1992. Biochemistry and chemistry of color and color change in seafoods. *Advances in seafood biochemistry*, pp.305-360.
19- Hedges, N., Unilever, R. and Sharnbrook. 2001. Maintaining the quality of frozen fish. In Safety and quality issues in fish processing. *Wood head publishing limited*, Washington, DC.
20- Josephson, D.B., Lindsay, R.C. and Stuiber, D.A., 1985. Effect of handling and packaging on the quality of frozen whitefish. *Journal of Food Science*, *50*(1), pp.1-4.
21- Rehbein, H., 1988. Relevance of trimethylamine oxide demethylase activity and haemoglobin content to formaldehyde production and texture deterioration in frozen stored minced fish muscle. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *43*(3), pp.261-276.
22- Shahidi, F., and Botta, J.R., 1994. Seafood: Chemistery, processing, technology and quality, chpman and All, London.UK.
23- Silva, J.L. and Ammerman, G.R., 1993. Composition, lipid changes, and sensory evaluation of two sizes of channel catfish during frozen storage. *Journal of applied aquaculture*, *2*(2), pp.39-50.
24- Slabyj, B.M. and Hultin, H.O., 1983. Microsomal lipid per oxidation system from herring light and dark muscles: Effect of cytosolic factors. *Journal of Food Biochemistry*, *7*(2), pp.105-112.
25- Tall, J. and Harris, P., 1995. Rancidity in frozen fish. *Journal Fish Oil*, pp.35-48.
26- Undeland, I., 2001. Lipid oxidation in fatty during processing and storage, in kestin SC, Warriss PD, Farmed fish quality, oxford, *Fishing News Books*. pp.261– 275.