نسخه قبل از انتشار

اثر روش‌های مختلف انجمادزدایی بر کیفیت فیزیکوشیمیایی صدف خوراکی ساکوسترا کوکولاتا (*Saccostrea cucullata*)

ذبیح اله بهمنی[1*]

۱- پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. بندرعباس، ایران. کدپستی: ۷۹۱۶۷۹۳۱۶۵

Email:zabihbahmani@gmail.com

The effect of different thawing methods on the physicochemical quality of edible oyster (*Saccostrea cucullata*)

Zabihalh Bahmani[1*]

1. Persion Gulf and Oman Sea Ecological Research Center, Iranian Fisheries Science Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization. Bandar Abbas, Iran.

چکیده

صدف ساکوسترا کوکولاتا از صدف‌های مهم خوراکی در ایران و جهان به شمار می‌آید. در این پروژه، حدود ۵۰۰ گرم گوشت صدف‌هایی که از سواحل صخره‌ای بندرمعلم (شهرستان بندرلنگه) در فصل زمستان جمع‌آوری شده بود، استحصال شد. برای جداسازی مواد زائد، فرآیند خودپالایی صدف به مدت ۷۲ ساعت در محیط کلر (۲/۵ ppm) و اسیدسیتریک ($0/2\ g.l^{-1}$) انجام شد سپس گوشت صدف جداسازی و با آب تمیز و خنک شستشو گردید و در دمای $-24\ ^{\circ}C$ به مدت ۱۰ روز منجمد شد. پس از طی زمان انجماد، انجمادزدایی در دمای محیط ($24\ ^{\circ}C$)، آب ($20\ ^{\circ}C$)، یخچال با هوای ساکن ($4\pm2\ ^{\circ}C$) و یخچال با هوا متحرک ($4\pm2\ ^{\circ}C$) انجام شد. سپس محاسبه زمان انجمادزدایی (T_t)، pH، ظرفیت نگهداری آب (WHC)، آبچک بعد از انجمادزدایی (DL_t)، آبچک بعد از پخت (DL_c)، عدد پراکسید (PV)، تیوباربیتوریک اسید (TBA) و کل بازهای ازته فرار (TVB-N) بررسی شد. نتایج زمان انجمادزدایی برای بلوک 120 ± 10 گرمی صدف در روش‌های انجمادزدایی در هوا، آب، یخچال با هوای ساکن و یخچال با هوای متحرک به ترتیب، ۴۲/۳، ۲۵، ۵۶ و ۳۱/۶ دقیقه محاسبه شد. به طور کلی میزان pH، WHC، DL_t، DL_c، PV، TBA و TVB-N صدف کوکولاتا برای تیمار انجمادزدایی در یخچال با هوای متحرک به ترتیب؛ ۶/۳۸، ۹۲ درصد، ۲/۳۵ درصد، ۸/۱۳ درصد، ۳/۴۸ meq g O_2/Kg Fat، ۱/۱۲ mg MDA/Kg Fat و ۱۰/۹۱ mg N/100g flesh گزارش شد. بیشترین میزان TBA و TVB-N در تیمار انجمادزدایی در دمای محیط به ترتیب، ۲/۳۵ mg MDA/Kg Fat و ۱۷/۸۴ mg N/100g flesh بود که با تیمار انجمادزدایی در یخچال با هوای متحرک تفاوت معنی‌دار ($p< 0/05$) داشت. لذا جهت حفظ کیفیت صدف کوکولاتا، استفاده از روش انجمادزدایی در یخچال با هوای متحرک پیشنهاد می‌گردد.

کلمات کلیدی: صدف ساکوسترا کوکولاتا، انجمادزدایی، یخچال با هوای متحرک، انجماد

مقدمه

میزان تولید و تجارت جهانی نرم‌تنان به ویژه دوکفه‌ایها به ترتیب ۱۷/۷ میلیون تن و ۲۹/۸ میلیون دلار آمریکا بود (۱). صدف ساکوسترا کوکولاتا (*S. cucullata*)، صدف کلاهدار یا صدف صخره‌ای یک صدف دوکفه‌ای خوراکی و با ارزش تجاری در سواحل صخره ای و جنگل های حرا جنوب کشور یافت می شود. تکثیر و پرورش این صدف در جنوب کشور در استان بوشهر توسط بخش خصوصی به تازگی آغاز شد. با توجه به ارزش تجاری و شرایط مساعد منطقه برای پرورش این گونه از آبزیان می‌توان آینده خوبی برای تولید آنها پیش بینی نمود (۲). از آنجایی که حرمت استفاده از این آبزیان در داخل کشور وجود دارد لذا بهتر است در داخل کشور در تولید مواد آرایشی و بهداشتی و صادرات خوراکی و غیرخوراکی در دستور کار قرار گیرد (۲). عرضه زیاد این محصولات به بازارهای جهانی نیازمند استفاده از روش‌های نوین نگهداری طولانی مدت در مناطق مختلف می‌باشد (۳). بنابراین، افزایش مدت زمان ماندگاری و در عین حال حفظ استانداردهای کیفی محصول در زنجیره تولید و تأمین، از مرحله صید تا فرآوری و توزیع و فروش آنها ضروری است. بهترین روش حفظ، نگهداری و انتقال این آبزیان، سردسازی و انجماد است. انجماد تا حدودی می‌توانند میزان افت کیفیت در محصولات شیلاتی را کاهش داده و در حفظ تازگی محصول موثر باشد (۴). جهت مصرف آبزیان منجمد، باید انجمادزدایی یا دیفراست صورت گیرد که در نتیجه آن محصول به حالت قبل از انجماد برمیگردد و همانند محصول تازه دچار تغییرات فیزیکی، شیمیایی و میکروبی خواهدشد که این تغییرات طی انجمادزدایی ممکن است سبب آسیب به مواد غذایی شده، بنابراین برای کنترل چنین تغییراتی بایستی حداقل درجه حرارت محیطی برای تضمین فرآیند انجمادزدایی درنظر گرفته شود (۵ و ٦). روش‌های انجمادزدایی آبزیان بسیار متنوع می باشد و شامل انجمادزدایی در دمای محیط، آب، یخچال با هوای ساکن و متحرک، فشار بالا، مایکروویو اهمی و صوتی و روش‌های الکتریکی می‌باشند (٤، ٦، ۷، ۸، ۹ و ۱۰). همچنین مطالعاتی در زمینه تأثیر فرآیند انجمادزدایی بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، میکروبی و حسی ماهی (۱۱، ۱۲، ۱۳، ١٤ و ۱۵)، میگو (١٦)، خرچنگ (۱۷)، ماهی مرکب (۱۸) و صدف (۳ و ۱۶) انجام گرفت. در حال حاضر در صنایع فرآوری ایران، معمولاً ماهی را در هوا و یا آب انجمادزدایی می‌کنند. اما از آنجایی که انجمادزدایی در دمای بالا آب یا هوا باعث کاهش ظرفیت نگهداری آب، افزایش آبچک، به عبارتی باعث کاهش کیفیت فرآورده می‌گردد، بنابراین استفاده از روش‌هایی مانند انجمادزدایی در یخچال با هوای ساکن و متحرک با فرض حفظ بهتر کیفیت آبزیان مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

در این پروژه، حدود ۵۰۰ گرم گوشت تازه صدف خوراکی ساکوسترا کوکولاتا با نام علمی (*Saccostrea cucullata*) که از سواحل صخره‌ای بندرمعلم (شهرستان بندرلنگه) در فصل زمستان (بهمن ماه) جمع‌آوری شده بود، استحصال شد. برای جداسازی مواد زائد، فرآیند خودپالایی صدف به مدت ۷۲ ساعت در محیط کلر (۲/۵ ppm) و اسیدسیتریک (۰/۲ $g.l^{-1}$) انجام شد سپس گوشت صدف جداسازی و با آب تمیز و خنک شستشو گردید، سپس گوشت صدف به چهار قسمت مساوی به وزن تقریبی ۱۰±۱۲۰ گرم تقسیم و در دمای ۲۴- درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ روز منجمد و سپس انجمادزدایی در دمای محیط (۲۴ درجه

سانتی گراد)، آب (۲۰ درجه سانتی گراد)، یخچال (۴±۲ درجه سانتی گراد) و دمای یخچال با هوا متحرک (۴±۲ درجه سانتی گراد) انجام شد. محاسبه زمان انجمادزدایی (T_t)، pH، ظرفیت نگهداری آب (WHC)، آبچک بعد از انجمادزدایی (DLt) و آبچک بعد از پخت (DLc)، عدد پراکسید (PV)، تیوباربیتوریک اسید (TBA) و بازهای ازته فرار (TVB-N) انجام شد.

محاسبه زمان انجمادزدایی

بلوک‌های صدف منجمد در هر یک از شرایط انجمادزدایی تا زمان ذوب کامل یخ به نحوی که بافتی همگن و فاقد یخ، احساس گردد به روش Góral و همکاران (۲۰۱۶)، انجام شد (۱۹).

اندازه‌گیری pH

۵ گرم از نمونه بافت صدف هموژن شده به ۴۵ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد و به مدت ۳۰ ثانیه در یک مخلوط‌کن قرار داده شد، سپس مقادیرpH، با pH متر دیجیتال (Az86p3) با استانداردهایی در pH ۴ و ۷ اندازه‌گیری شد (۲۰).

ظرفیت نگهداری آب (WHC)

ابتدا مقدار ۱۰ گرم صدف جدا و وزن نموده، سپس داخل فالکن ریخته و درون سانتریفیوژ یخچال دار مدل (Centrifuge 5010 R, eppendorf, Germany)، با سرعت ۱۰۰۰۰ rpm و دمای ۴ درجه سانتی گراد به مدت ۲۰ دقیقه قرار داده شد تا جداسازی به خوبی انجام گیرد در پایان کار مایع رویی تخلیه و وزن نمونه اندازه‌گیری شد و با رابطه ۱، مقدار ظرفیت نگهداری آب بدست آمد (۲۱).

$$WHC\ (\%) = \frac{1-w_2}{W_1 \times H} \times 100 \quad -۱$$

W_1= وزن اولیه نمونه

W_2= وزن نمونه بافت فاقد آب

H= مقدار رطوبت

آبچک[1] بعد از یخ‌گشایی (DL_t) و پخت (DL_c)

در این روش وزن صدف تازه بعنوان وزن اولیه تعیین و ثبت گردید سپس وزن صدف بعد از انجمادزدایی و پخت تعیین و به عنوان وزن ثانویه گزارش شد و از رابطه ۲، مقدار آبچک بعد از یخ گشایی و پخت حاصل گردید (۱۲).

$$DL = \frac{W1-W2}{W1} \times 100 \quad -۲ \text{ رابطه}$$

W_1= وزن اولیه

W_2= وزن ثانویه

اندازه گیری پراکسید (PV)

[1] Drip loss (DL)

یک گرم نمونه روغن استخراج شده از صدف را به دقت در ارلن مایر ۲۵۰ میلی لیتری سر سمباده‌ای وزن نموده و حدود ۲۵ میلی لیتر از محلول اسیداستیک کلروفرمی (نسبت کلروفرم به اسید استیک ۲ :۳) به محتویات ارلن اضافه شد. سپس ۰/۵ میلی لیتر از محلول یدورپتاسیم اشباع، ۳۰ میلی‌لیتر از آب مقطر و ۰/۵ میلی‌لیتر محلول نشاسته یک درصد به مجموعه افزوده و مقدار ید آزاد شده با محلول تیوسولفات‌سدیم ۰/۰۱ نرمال تیتر گردید (۲۲). میزان پراکسید (meq g O_2/Kg Fat) بر اساس رابطه ۳، محاسبه شد.

رابطه ۳-

$$PV = \frac{\left(\text{حجم تیوسولفات مصرفی} \times \text{نرمالیته} \times 1000\right)}{\text{وزن نمونه روغن}}$$

اندازه‌گیری اسید تیوباربیتوریک (TBA)

اندازه‌گیری TBA به وسیله روش رنگ سنجی صورت گرفت. مقدار ۲۰۰ میلی‌گرم از نمونه چرخ شده به یک بالن ۲۵ میلی لیتری انتقال یافت و سپس با ۱- بوتانل به حجم رسانده شد. ۵ میلی لیتر از مخلوط فوق به لوله های خشک درب‌دار وارد شده و به آن ۵ میلی لیتر از معرف TBA افزوده گردید (معرف TBA به وسیله حل شدن ۲۰۰ میلی گرم از TBA در ۱۰۰ میلی لیتر حلال ۱- بوتانل پس از فیلتر شدن به دست می‌آید). لوله‌های درب دار در حمام آب با دمای ۹۵ درجه سانتیگراد به مدت ۲ ساعت قرار گرفته و پس از آن در دمای محیط سرد شدند. سپس مقدار جذب نمونه (As) در ۵۳۲ نانومتر در مقابل شاهد آب مقطر (Ab) قرائت شد. مقدار TBA (mg MDA/Kg) بر اساس رابطه ۴، محاسبه گردید (۲۳).

رابطه ۴-

$$TBA=\frac{(A_s-A_b)\times 50}{200}$$

اندازه‌گیری مجموع بازهای ازته فرار (TVB-N)

۱۰ گرم گوشت چرخ شده گوشت صدف را همراه با ۲ گرم اکسیدمنیزیم و ۳۰۰ میلی لیتر آب مقطر داخل بالن کلدال ریخته، سپس چند عدد پرل شیشه‌ای به همراه اکتان نرمال (ضد کف) به آن اضافه گردید. سپس بالن را به دستگاه وصل کرده و از زیر به آن حرارت داده شد. درانتهای دستگاه یک ارلن مایر ۲۵۰ میلی‌لیتری نیز حاوی ml ۲۵ از محلول اسید بوریک ۲٪ (۲ گرم اسید بوریک در ml ۱۰۰ آب مقطر به حجم رسانده) به همراه چند قطره معرف متیل رد (۰/۱ گرم متیل رد در ml ۱۰۰ اتانول به حجم رسانده) قرار داده شد. عمل تقطیر تا گذشت ۳۰ دقیقه از زمان جوشش مواد درون بالن، یا جمع شدن حدود ml ۱۲۵ مایع در ارلن مایر ادامه یافت. محلول اسیدبوریک به محض قلیایی شدن توسط بازهای ازته فرار تقطیر شده به زرد رنگ شده و عمل

تیتراسیون این محلول توسط اسید سولفوریک ۰/۱ نرمال تا جایی ادامه می‌یابد که اسید بوریک دوباره قرمز شود. مقـدار TVB-N به صورت میلی‌گرم نیتروژن در صد گرم گوشت با توجه به رابطه ۵، به دست می‌آید (۲۴).

$$TVB-N=\frac{(\text{میزان اسید}\times 1.4\times 100)}{\text{وزن نمونه}}$$ رابطه ۵-

آزمون آماری

برای تجزیه و تحلیل ها داده‌ها از آنالیز واریانس یک طرفه و مقایسه میانگین داده‌های به دست آمده از آزمون توکی در سطح ۵ درصد، از نرم افزار آماری SPSS ۲۱ استفاده شد.

نتایج

زمان انجمادزدایی

زمان انجمادزدایی در روش‌های مختلف یخ‌گشایی مورد محاسبه قرار گرفت. کمترین زمان انجمادزدایی در روش یخ‌گشایی در آب به مدت ۲۵ دقیقه بود و بیشترین زمان یخ‌گشایی در روش یخچال ۵۶ دقیقه گزارش گردید (جدول، ۱). مدت زمان انجمادزدایی در روش یخ‌گشایی در یخچال با هوای متحرک و دمای محیط به ترتیب در رتبه دوم و سوم به میزان ۳۱/۶ و ۴۲/۳ دقیقه محاسبه شد و اختلاف بین تیمارهای یخ‌گشایی معنی‌دار ($p<$ ۰/۰۵) بود.

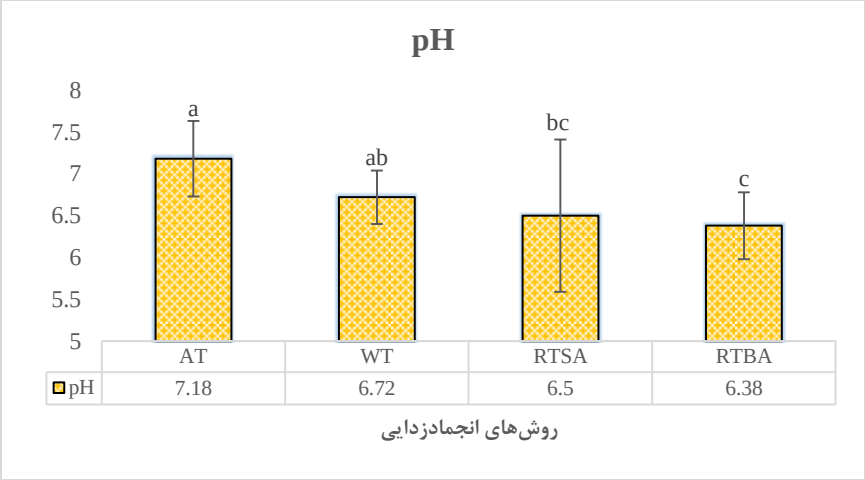
جدول ۱- نتایج زمان انجمادزدایی نمونه‌های صدف ساکوسترا کوکولاتا به روش‌های یخ‌گشایی در هوا (AT)، آب (WT)، یخچال با هوای ساکن (RTSA) و یخچال با هوای متحرک (RTBA)

روش انجمادزدایی	دمای محیط (۲۴ ° C)	آب (۲۰ ° C)	یخچال (۴ ° C)	یخچال با هوای متحرک (۴ ° C)
زمان (دقیقه)	^{b}۴۲/۳ ± ۰/۴۷	^{d}۲۵ ± ۰/۳۵	^{a}۵۶ ± ۱/۱۹	^{c}۳۱/۶ ± ۰/۵۱

*داده ها بصورت (M±SD, N:3) گزارش شد. حروف لاتین کوچک متفاوت و مشابه در ردیف افقی بیانگر وجود و عدم وجود تفاوت معنی‌دار ($p<$۰/۰۵) می‌باشد.

مقدار pH

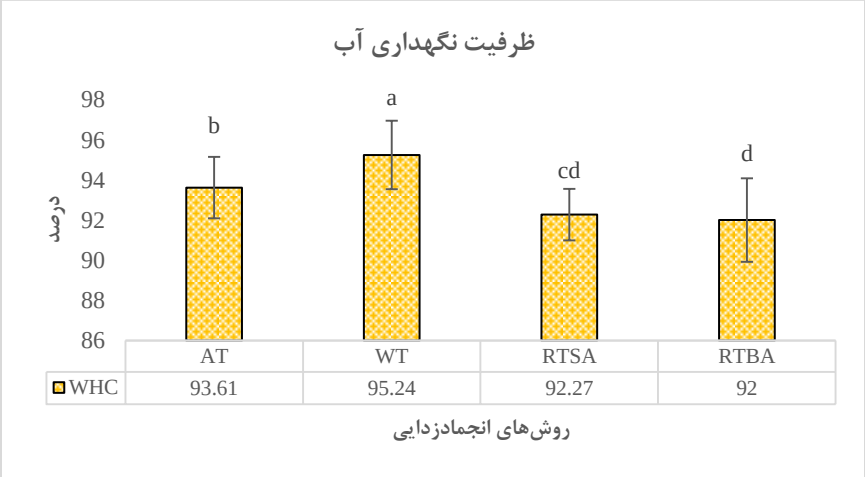
مقدار pH نمونه‌های صدف انجمادزدایی شده به روش‌های یخ‌گشایی در هوا، آب، یخچال با هوای ساکن و یخچال با هوای متحرک به ترتیب، ۷/۱۸، ۶/۷۲، ۶/۵ و ۶/۳۸ گزارش شد (شکل، ۱). افزایش مقدار pH پس از انجمادزدایی کامل صدف‌ها در روش‌های مختلف، بیانگر کاهش کیفیت صدف می‌باشد هر چند برای اظهارات قطعی لازم است سایر شاخص‌های کیفی آبزیان نیز مورد بررسی قرار گیرد.



شکل ۱. مقدار pH نمونه‌های صدف انجمادزدایی شده به روش‌های یخ‌گشایی در هوا (AT)، آب (WT)، یخچال با هوای ساکن (RTSA) و یخچال با هوای متحرک (RTBA)

ظرفیت نگهداری آب (WHC)

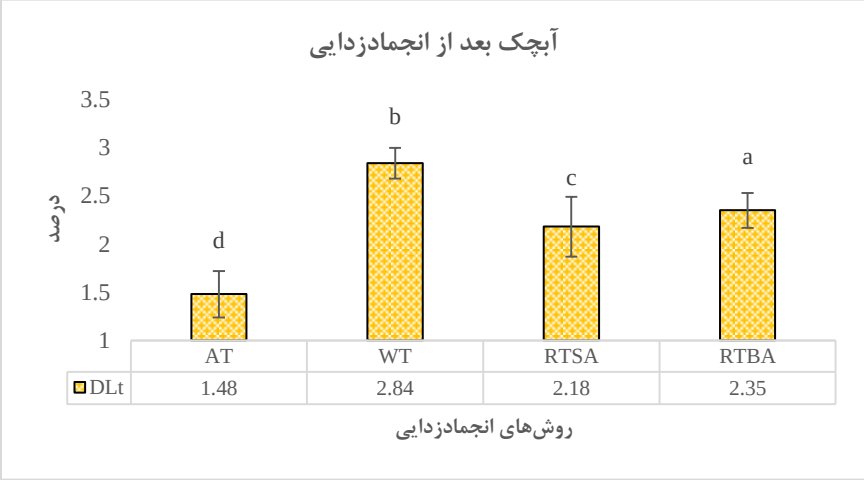
بیشترین و کمترین ظرفیت نگهداری آب پس از یخ‌گشایی به ترتیب در تیمارهای یخ‌گشایی با آب (۹۵/۲۴ درصد) و یخچال با هوای متحرک (۹۲ درصد) ثبت شد و اختلاف بین این دو تیمار معنی‌دار ($p< ۰/۰۵$) بود (شکل، ۲). مقدار ظرفیت نگهداری آب در تیمارهای یخ‌گشایی در هوای محیط، ۹۳/۶۱ درصد و یخچال با هوای ساکن، ۹۲/۲۷ درصد گزارش شد و دارای اختلاف معنی‌دار ($p< ۰/۰۵$) می‌باشد.



شکل ۲. مقدار ظرفیت نگهداری آب (WHC) نمونه‌های صدف انجمادزدایی شده به روش‌های یخ‌گشایی در هوا (AT)، آب (WT)، یخچال با هوای ساکن (RTSA) و یخچال با هوای متحرک (RTBA)

مقدار آبچک بعد از انجمادزدایی (DL_t)

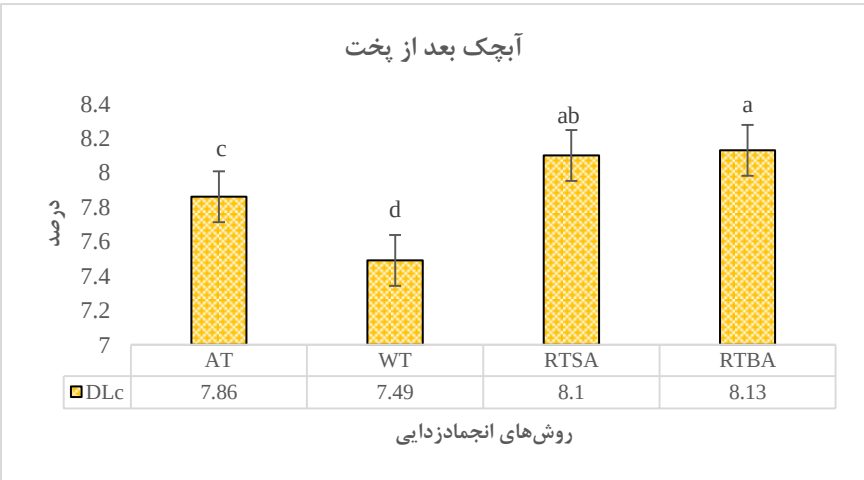
مقدار افت وزنی یا آبچک بعد از یخ‌گشایی در صدف خوراکی ساکوسترا کوکولاتا مورد بررسی قرار گرفت (شکل، ۳). مقدار آبچک در تیمارهای انجمادزدایی در هوا، آب، یخچال با هوای ساکن و یخچال با هوای متحرک به ترتیب، ۱/۴۸، ۲/۸۴، ۲/۱۸ و ۲/۳۵ درصد اعلام شد. بیشترین و کمترین میزان افت وزنی به ترتیب در تیمار انجمادزدایی در آب و هوا مشاهده گردید. آزمون توکی اختلاف آماری معنی داری ($p<۰/۰۵$) را در بین تیمارهای نشان داد.



شکل ۳. مقدار آبچک بعد از انجمادزدایی (DLt) نمونه‌های صدف انجمادزدایی شده به روش‌های یخ‌گشایی در هوا (AT)، آب (WT)، یخچال با هوای ساکن (RTSA) و یخچال با هوای متحرک (RTBA)

مقدار آبچک بعد از پخت (DL_c)

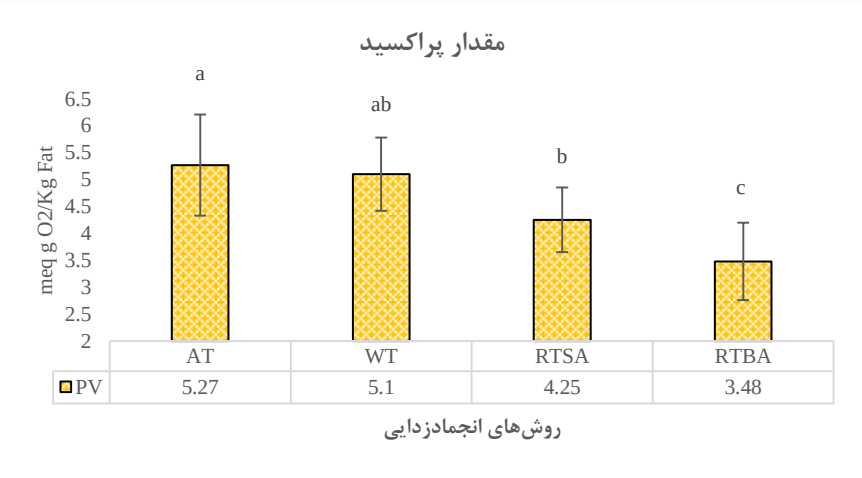
مقدار افت وزنی صدف خوراکی ساکوسترا کوکولاتا انجمادزدایی شده به روش‌های انجمادزدایی در هوا، آب، یخچال با هوای ساکن و یخچال با هوای متحرک بعد از پخت به ترتیب، ۷/۸۶، ۷/۴۹، ۸/۱ و ۸/۱۳ درصد بود (شکل، ۴). بیشترین میزان افت وزنی در تیمار انجمادزدایی در یخچال با هوای متحرک مشاهده گردید. اختلاف آماری معنی‌داری ($p>۰/۰۵$) بین تیمار یخچال با هوای متحرک با تیمار یخچال با هوای ساکن مشاهده نشد اما با سایر تیمارها دارای اختلاف معنی‌دار ($p<۰/۰۵$) بود.



شکل ۴. مقدار آبچک بعد از پخت (DLc) نمونه‌های صدف انجمادزدایی شده به روش‌های یخ‌گشایی در هوا (AT)، آب (WT)، یخچال با هوای ساکن (RTSA) و یخچال با هوای متحرک (RTBA)

شاخص پراکسید (PV)

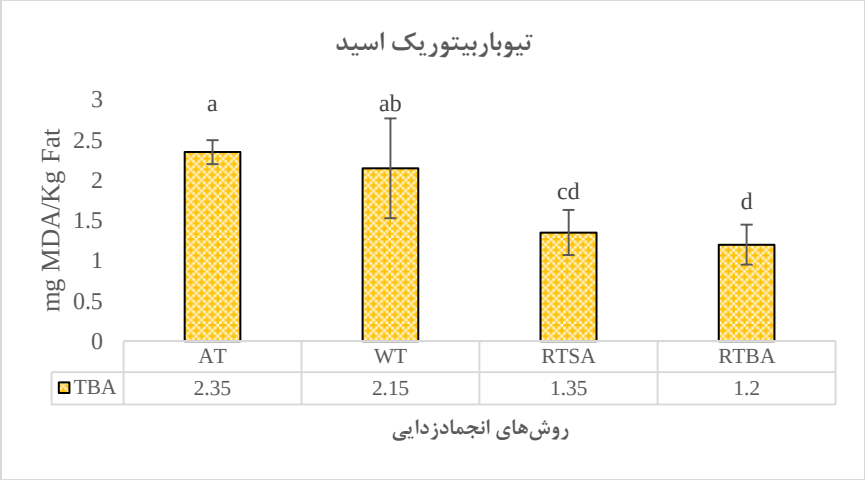
شاخص پراکسید، یکی از شاخص‌های شیمیایی تعیین میزان فساد اکسیداتیو صدف ساکوسترا کوکولاتا پس از فرآیند انجمادزدایی به روش‌های مختلف می‌باشد (شکل، ۵). مقدار فساد اکسیداتیو در تیمار انجمادزدایی در دمای هوا (۵/۲۷ meq g O_2.Kg^{-1} Fat)، در آب (۵/۱ meq g O_2.Kg^{-1} Fat)، در یخچال با هوای ساکن (۴/۲۵ meq g O_2.Kg^{-1} Fat) و در یخچال با هوای متحرک (۳/۴۸ meq g O_2.Kg^{-1} Fat) گزارش شد. اختلاف آماری بین تیمار انجمادزدایی در هوا با سایر تیمارها به جزء تیمار انجمادزدایی در آب معنی‌دار ($p<۰/۰۵$) می‌باشد.



شکل ۵. مقدار پراکسید (PV) نمونه‌های صدف انجمادزدایی شده به روش‌های یخ‌گشایی در هوا (AT)، آب (WT)، یخچال با هوای ساکن (RTSA) و یخچال با هوای متحرک (RTBA).

مقدار اسید تیوباربیتوریک (TBA)

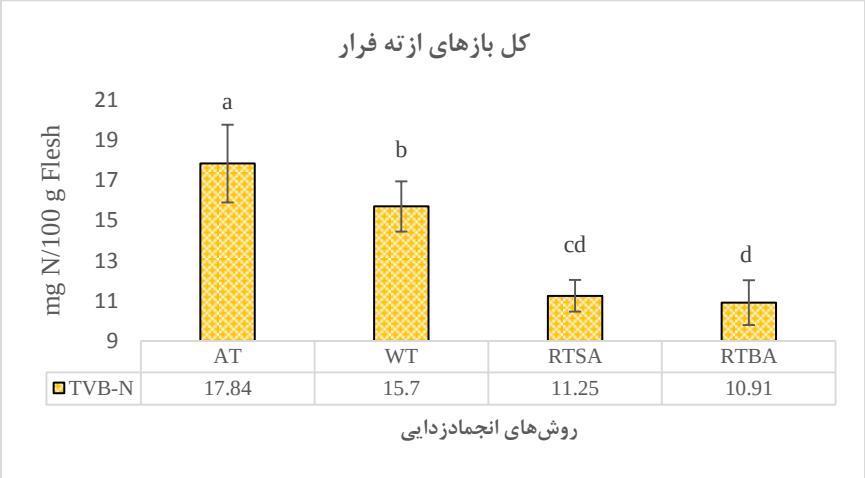
شاخص TBA، بیانگر میزان تولید آلدهید و کتون در مرحله ثانویه فرآیند اکسیداسیون روغن می‌باشد. مقدار این شاخص در تیمارهای انجمادزدایی شده به روش انجمادزدایی در هوا، آب، یخچال با هوای ساکن و یخچال با هوای متحرک به ترتیب، ۲/۳۵، ۲/۱۵، ۱/۳۵ و ۱/۲ mg MDA.Kg^{-1} Fat مشاهده شد (شکل، ۶). اختلاف آماری بین تیمار انجمادزدایی در هوا با سایر تیمارها به جزء تیمار انجمادزدایی در آب معنی‌دار ($p<۰/۰۵$) می‌باشد.



شکل ۶. مقدار تیوباربیتوریک اسید (TBA) نمونه‌های صدف انجمادزدایی شده به روش‌های یخ‌گشایی در هوا (AT)، آب (WT)، یخچال با هوای ساکن (RTSA) و یخچال با هوای متحرک (RTBA)

مقدار مجموع بازهای ازته فرار (TVB-N)

مقدار TVB-N نمونه‌های صدف انجمادزدایی شده به روش‌های یخ‌گشایی در هوا، آب، یخچال با هوای ساکن و یخچال با هوای متحرک به ترتیب، ۱۷/۸۴، ۱۵/۷، ۱۱/۲۵ و ۱۰/۹۱ mg N/100 g Flesh گزارش شد (شکل، ۷). بیشترین مقدار TVB-N در تیمار انجمادزدایی در هوا مشاهده شد. آزمون آماری توکی اختلاف بین این تیمار با سایر تیمارها را معنی‌دار ($p<۰/۰۵$) گزارش کرد. افزایش مقدار TVB-N پس از انجمادزدایی کامل صدف‌ها در روش‌های مختلف، بیانگر کاهش کیفیت صدف می‌باشد.



شکل ۷. مقدار بازهای ازته فرار (TVB-N) نمونه‌های صدف انجمادزدایی شده به روش‌های یخ‌گشایی در هوا (AT)، آب (WT)، یخچال با هوای ساکن (RTSA) و یخچال با هوای متحرک (RTBA)

بحث

مدت زمان انجمادزدایی تاثیر بسیار زیادی بر کیفیت آبزیان دارند به همین خاطر از اهمیت بسیار بالایی در صنعت برخوردار می‌باشند و بعنوان یک شاخص کلیدی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۲۵). روش انجمادزدایی در یخچال به‌عنوان یک شیوه انجمادزدایی کند، انجمادزدایی در آب و هوا به عنوان روش‌های انجمادزدایی نیمه سریع و روش میکروموج به‌عنوان یک روش سریع معرفی شده‌اند (۲۶). کمترین زمان انجمادزدایی در روش یخ‌گشایی در آب با توجه به رسانش (انتقال) حرارتی که دارد، مشاهده شد و بیشترین زمان یخ‌گشایی در روش یخچال با هوای ساکن به دلیل اختلاف کم دمای یخچال با دمای صدف منجمد، گزارش گردید. مدت زمان انجمادزدایی در روش یخ‌گشایی در یخچال با هوای متحرک و دمای محیط به ترتیب در رتبه دوم و سوم به میزان ۳۱/۶ و ۴۲/۳ دقیقه محاسبه شد. تاثیر مدت زمان انجمادزدایی بر شرایط فرآیند و ویژگی‌های محصول در تحقیقات Góral و همکاران (۱۹) مورد بررسی قرار گرفت و مهمترین عوامل کاهش مدت زمان انجمادزدایی بهبود شرایط عملی انتقال حرارت و اختلاف دما محیط و محصول در طول فرآیند انجمادزدایی ذکر شد. با توجه به این که عامل رسانش در سه روش انجمادزدایی به کار گرفته شده در این تحقیق به جزء روش انجمادزدایی در آب، هوا بوده، که هوا رسانای خوبی نمی‌باشد بنابراین انتقال حرارت به خوبی صورت نمی‌گیرد در اینجا عامل موثر در تعیین زمان انجمادزدایی اختلاف درجه حرارت محیط و محصول می‌باشد (۲۷). مقدار pH نمونه‌های صدف انجمادزدایی شده به روش‌های یخ‌گشایی در هوا، آب، یخچال با هوای ساکن و یخچال با هوای متحرک به ترتیب، ۷/۱۸، ۶/۷۲، ۶/۵ و ۶/۳۸ گزارش شد. افزایش مقدار pH پس از انجمادزدایی کامل صدف ساکوسترا کوکولاتا به روش‌های مختلف، بیانگر کاهش کیفیت صدف می‌باشد. افزایش pH ناشی افزایش ترکیبات ازته فرار، دی و تری متیل آمین‌ها و ترکیبات آمونیاکی می‌باشد که در نتیجه فعالیت آنزیمی و باکتریایی حاصل می‌شوند (۲۸). در تحقیق Teng و همکاران (۲۰۲۲)، افزایش pH، در چرخه انجماد و انجمادزدایی صدف خوراکی (*Crassostrea gigas*) گزارش شد (۳). افزایش pH در تحقیق شفیعی‌پور و سامی (۲۰۱۵) طی فرآیند انجمادزدایی در میگو صورتی (*Penaeus duorarum*)، Mahboob و همکاران (۲۰۱۹)، در گربه ماهی (*Clarias gariepinus*) و کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) مشاهده شد (۲۹ و ۳۰). یکی دیگر از شاخص‌هایی که در فرآیند انجماد و انجمادزدایی مورد بررسی قرار گرفت ظرفیت نگهداری آب (WHC) بود که در شرایط انجماد به دلیل دناتوره شدن پروتئین‌های ساختاری (اکتین و میوزین) و پیوندی (کلاژن) کاهش می‌یابد (۴ و ۳۱). بیشترین و کمترین ظرفیت نگهداری آب پس از یخ‌گشایی به ترتیب در تیمارهای یخ‌گشایی با آب (۹۵/۲۴ درصد) و یخچال با هوای متحرک (۹۲ درصد) ثبت شد. در تحقیق Jadgal و همکارن (۲۰۱۸)، کمترین ظرفیت نگهداری آب در تیمار انجمادزدایی ماهی زرده منجمد (*Euthunnus affinis*) با مایکروویو (۷۶/۷۷ درصد) گزارش شد، در صورتی‌که در صدف ساکوسترا کوکولاتا، کمترین ظرفیت نگهداری آب در تیمار انجمادزدایی در یخچال با هوای متحرک (۹۲ درصد) گزارش گردید (۳۱). مقدار آبچک بعد از انجمادزدایی و بعد از پخت در تیمارهای انجمادزدایی در هوا، آب، یخچال با هوای ساکن و یخجال با هوای متحرک به ترتیب، (۱/۴۸ و ۷/۸۶ درصد)، (۲/۸۴ و ۷/۴۹ درصد)، (۲/۱۸ و ۸/۱ درصد) و (۲/۳۵ و ۸/۱۳ درصد) گزارش شد. بیشترین میزان افت وزنی در تیمار انجمادزدایی در یخچال با هوای متحرک مشاهده گردید. در فرآیند انجمادزدایی، کریستال‌های یخ ذوب شده به آب تبدیل شده که این امر موجب کاهش وزن و چروکیدگی بافت می‌شود (۷ و ۹)، بیشترین و کمترین میزان افت وزنی به ترتیب در تیمار انجمادزدایی در آب و هوا مشاهده گردید. بیش‌ترین میزان آبچک در ماهی شوریده (*Otolithes ruber*) مربوط به انجمادزدایی به روش مایکروویو بود (۳۲). افزایش میزان آبچک پس از انجمادزدایی و پخت، به‌دلیل آسیب‌های فیزیکی و تغییرات ساختاری وارد شده به پروتئین‌های میوفیبریلار و استرما طی فرآیند انجماد و پخت می‌باشد (۲ ۳۳). نتایج مشابهی در مطالعه شفیعی‌پور و سامی (۲۰۱۵) در میگوی

صورتی (*Penaeus duorarum*)، و جدگال و همکاران (۲۰۱۸) در ماهی زرده منجمد (*Euthunnus affinis*) گزارش شد (۲۹ و ۳۱). شاخص پراکسید و تیوباربیتوریک اسید از شاخص‌های شیمیایی تعیین میزان فساد اکسیداتیو در مراحل اولیه و ثانویه اکسیداسیون روغن می‌باشند (۳٤). حداکثر میزان مجاز پراکسید و تیوباربیتوریک‌اسید برای کیفیت مطلوب ماهی (منجمد و نگهداری شده در یخچال و یخ) به ترتیب، ۵ میلی‌اکی والان گرم اکسیژن و ۲ تا ۸ میلی‌گرم مالون دی آلدهید در کیلوگرم چربی می‌باشد (۳۵). مقدار PV و TBA به ترتیب، در تیمار انجمادزدایی در دمای هوا (۵/۲۷ meq g O_2.Kg^{-1} Fat و $mg\ MDA.Kg^{-1}$ Fat ۲/۳۵)، آب (۵/۱ meq g O_2.Kg^{-1} Fat و ۲/۱۵ mg $MDA.Kg^{-1}$ Fat)، یخچال با هوای ساکن (۴/۲۵ meq g O_2.Kg^{-1} Fat و ۱/۳۵ mg $MDA.Kg^{-1}$ Fat) و یخچال با هوای متحرک (۳/۴۸ meq g O_2.Kg^{-1} Fat و ۱/۲ mg $MDA.Kg^{-1}$ Fat) گزارش شد. مقدار TVB-N، صدف انجمادزدایی شده به روش‌های یخ‌گشایی در هوا، آب، یخچال با هوای ساکن و یخچال با هوای متحرک به ترتیب، ۱۷/۸۴، ۱۵/۷، ۱۱/۲۵ و ۱۰/۹۱ mg N/100 g Flesh گزارش شد. مجموع بازهای ازته فرار در گونه‌های مختلف آبزیان متفاوت است و با توجه به سن، فصل، جنس و منطقه زیست آبزی متغییر می‌باشد. بطور کلی مصرف محصولاتی که مقدار TVB-N در آن بیش از ۳۵–۲۵ میلی‌گرم نیتروژن در هر ۱۰۰ گرم محصول باشد، نامناسب است (۳۶). افزایش مقادیر PV، TBA و TVB-N پس از انجمادزدایی صدف ساکوسترا کوکولاتا به روش‌های مختلف، بیانگر کاهش کیفیت صدف می‌باشد بیش‌ترین مقدار PV، TBA و TVB-N در تیمار صدف انجمادزدایی شده در دمای هوا مشاهده گردید در صورتی که در تحقیق زارع جونقانی و حسینی (۱۳۹۶)، بیشترین مقدار TBA و TVB-N ماهی فیتوفاگ در تیمار انجمادزدایی شده در یخچال به ترتیب، (۱/۶۵ mg $MDA.Kg^{-1}$ Fat و ۱۹/۲۱ mg N/100 g Flesh) گزارش شد (۳۴). بیشترین مقدار TBA و TVB-N حاصل از فرآیند انجمادزدایی در ماهی زرده (۳۱)، شوریده (۳۲) و کفال طلایی (۳۳) در تیمار انجمادزدایی شده به روش مایکروویو گزارش شد و دلیل آن استفاده از انرژی زیاد در دستگاه مایکروویو، که باعث تسریع فرآیند اکسیداسیون و افزایش تولید ترکیبات ازته فرار گردید (۲).

.نتیجه گیری

انجماد و انجمادزدایی باعث کاهش کیفیت آبزیان تازه می‌گردد در این مسیر باید به دنبال روشی بود که میزان تغییرات کیفی آبزیان و سایر فرآورده‌های گوشتی به حداقل برسد. از بین روش‌های انجمادزدایی (در دمای محیط، آب، یخچال و یخچال با هوای متحرک) استفاده شده در این پروژه، روش انجمادزدایی در یخچال با هوای متحرک به لحاظ سرعت انجمادزدایی و تغییرات کیفی نسبت به سایر روش‌های انجمادزدایی بهتر و مناسب‌تر بوده است، بنابراین پیشنهاد می‌گردد که در صنایع غذایی و شیلاتی از این روش استفاده نمایید.

تضاد منافع

این مقاله از پروژه ارزیابی کیفی صدف ساکوسترا کوکولاتا استخراج شده است.

تقدیر و تشکر

از همکاران پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان و مرکز تحقیقات نرمتنان بندرلنگه، که در انجام پروژه مشارکت داشته‌اند، صمیمانه سپاسگزارم.

Reference

1. Food and Agriculture organization; FAO. (2022). The State of World Fisheries and Aquaculture. P. 226.

2. Bahmani, Z.A., Ramshi, H., Pourmozafar, S., Tamadoni Jahormi, S., Karimzadeh, R. (2023). Evaluation of the nutritional value, quality, and shelf life of the flesh and products produced from the edible oyster (*Saccostrea cucullata*, Born, 1778). *Iranian Fisheries Science Research Institute*. pp. 92.

3. Teng, X., Cong, X., Chen, L., Wang, Q., Xue, C., Li, Z. (2022). Effect of repeated freeze-thawing on the storage quality of pacific oyster (*Crassostrea gigas*). *Journal of Food Measurement and Characterization*, *16*(6), pp.4641-4649.

4. Backi, C.J. (2018). Methods for (industrial) thawing of fish blocks: A review. *Journal of Food Process Engineering*, *41*(1), p.e12598.

5. Skåra, T., Stormo, S.K. and Nilsen, H.A. (2019). Advances in freezing and thawing. In *Innovative Technologies in Seafood Processing* (pp. 27-44). CRC Press.

6. Cai, L., Cao, M., Regenstein, J. and Cao, A. (2019). Recent advances in food thawing technologies. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *18*(4), pp.953-970.

7. Rouillé, J., Lebail, A., Ramaswamy, H.S., and Leclerc, L. (2002). High pressure thawing of fish and shellfish. *Journal of Food Engineering*, *53*(1), pp.83-88.

8. Gokoglu, N., and Yerlikaya, P. (2015). Seafood chilling, refrigeration and freezing*: science and technology*. John Wiley & Sons.

9. Erdogdu, F., Altin, O., Karatas, O., and Topcam, H. (2019). Innovative dielectric applications (microwave and radio frequency) for seafood thawing. In *Innovative technologies in seafood processing* (pp. 175-189). CRC Press.

10. Hassoun, A., Shumilina, E., Di Donato, F., Foschi, M., Simal-Gandara, J., and Biancolillo, A. (2020). Emerging techniques for differentiation of fresh and frozen–thawed seafoods: Highlighting the potential of spectroscopic techniques. *Molecules*, *25*(19), p.4472.

11. Roiha, I.S., Jónsson, Á., Backi, C.J., Lunestad, B.T., and Karlsdóttir, M.G. (2018a). A comparative study of quality and safety of Atlantic cod (*Gadus morhua*) fillets during cold storage, as affected by different thawing methods of pre-rigor frozen headed and gutted fish. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *98*(1), pp.400-409.

12. Roiha, I.S., Tveit, G.M., Backi, C.J., Jónsson, Á., Karlsdóttir, M., and Lunestad, B.T. (2018b). Effects of controlled thawing media temperatures on quality and safety of pre-rigor frozen Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Lwt*, *90*, pp.138-144.

13. Nilgun, K., Bengunur, C., Ozgul, O., and Kubra, K. (2013). Effects of multiple freezing-thawing processes and different thawing methods on quality changes of anchovy (*Engraulis engrasicholus* L.). *Journal of Food, Agriculture & Environment*, *11*(3&4), pp.185-189.

14. Brown, P., and Dave, D. (2021). Current freezing and thawing scenarios employed by North Atlantic fisheries: their potential role in Newfoundland and Labrador's northern cod (*Gadus morhua*) fishery. *PeerJ*, *9*, p.e12526.

15. Svendsen, E.S., Widell, K.N., Tveit, G.M., Nordtvedt, T.S., Uglem, S., Standal, I., and Greiff, K. (2022). Industrial methods of freezing, thawing and subsequent chilled storage of whitefish. *Journal of Food Engineering*, *315*, p.110803.

16. Ceylan, Z., and Unal, K. (2019). The effect of different thawing methods on quality parameters of frozen mussels and shrimp meats.

17. Lorentzen, G., Hustad, A., Lian, F., Grip, A.E., Schrødter, E., Medeiros, T. and Siikavuopio, S.I. (2020). Effect of freezing methods, frozen storage time, and thawing methods on the quality of mildly cooked snow crab (*Chionoecetes opilio*) clusters. *Lwt*, *123*, p.109103.

18. Lv, Y., and Xie, J. (2022). Quality of cuttlefish as affected by different thawing methods. *International Journal of Food Properties*, *25*(1), pp.33-52.

19. Góral, D., Kluza, F., Spiess, W.E., and Kozłowicz, K. (2016). Review of thawing time prediction models depending on process conditions and product characteristics. *Food technology and biotechnology*, *54*(1), pp.3-12.

20. Sallam, K.H.I., Samejima, K. (2004). Microbiological and chemical quality of ground beef treated with sodium lactate and sodium chloride during refrigerated storage. *LWT Food Science Technology*, 37, 865-871.

21. Suárez, M.D., Cervera, M.R., Abellán, E., Morales, A.E., Gallego, M.G., and Cardenete, G. (2010). Influence of starvation on flesh quality of farmed dentex, Dentex dentex. *Journal of the World Aquaculture Society*, *41*(4), pp.490-505.

22. Egan, H., KriK, R.S., Sawyer, R. (1997). Pearson's chemical analysis of food. 9thed, 609-634.

23. AOCS, F.D. (1998). Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society, method Cd19–90. TBA value. *AOCS*, *5*, pp.2-93.

24. Goulas, A.E., and Kontominas, M.G. (2007). Combined effect of light salting, modified atmospHere packaging and oregano essential oil on the shelf-life of sea bream (*Sparus aurata*): Biochemical and sensory attributes. *Food chemistry*, *100*(1), pp.287-296.

25. Kim, M.H., and Lee, K.S. (2015). Determination method of defrosting start-time based on temperature measurements. *Applied Energy*, *146*, pp.263-269.

26. Dinçer, T., Cadun, A., Çaklı, Ş., and Tolasa, Ş. (2009). Effects of different thawing methods on the freshness quality of fish. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, *26*(4), pp. 253-256.

27. Chung, Y., Na, S.I., Yoo, J.W., and Kim, M.S. (2021). A determination method of defrosting start time with frost accumulation amount tracking in air source heat pump systems. *Applied Thermal Engineering*, *184*, p.116405.

28. Zhang, M., Haili, N., Chen, Q., Xia, X. and Kong, B. (2018). Influence of ultrasound-assisted immersion freezing on the freezing rate and quality of porcine longissimus muscles. *Meat Science*, *136*, pp.1-8.

29. Shafieipour, A., and Sami, M. (2015). The effect of different thawing methods on chemical properties of frozen pink shrimp (*Penaeus duorarum*). *Iranian Journal of Veterinary Medicine*, *9*(1), pp. 1-6.

30. Mahboob, S., Al-Ghanim, K.A., Al-Balawi, H.F., Al-Misned, F., and Ahmed, Z. (2019). Study on assessment of proximate composition and meat quality of fresh and stored *Clarias gariepinus* and *Cyprinus carpio*. *Brazilian Journal of Biology*, *79*(4), pp. 651-658.

31. Jadghal, T., Alizadeh Doughikollaee, E., Bita, S. (2018). Effect of different thawing methods on the physicochemical, microbial parameters and sensory analysis of frozen *Euthnnus affinis*. *Journal of Food Science and Technology*, *82*(15), pp. 177-186.

32. Allahzahi, A., and Bita, S. (2021). The effect of different methods of freezing on some quality indicators of *Otolithes ruber*. *Exploitation and breeding of aquatic animals*, *10*(2), pp. 1-12.

33. Karami, B., Hajiha, E., and Kazemian, M. (2022). Comparison of different thawing methods quality of mullet fillets (*Liza aurata*). *Food Research Journal*, *32*(2), pp.31-42.

34. Sanjuás-Rey, M., Barros-Velázquez, J., and Aubourg, S.P. (2011). Effect of different icing conditions on lipid damage development in chilled horse mackerel (*Trachurus trachurus*) muscle. *Grasasy aceites*, *62*(4), pp.436-442.

35. Sallam, K.I. (2007). Antimicrobial and antioxidant effects of sodium acetate, sodium lactate, and sodium citrate in refrigerated sliced salmon. *Food control*, *18*(5), 566-575.

36. Al-Busaidi, M.A., Yesudhason, P., Al-Falahi, K.S., Al-Nakhaili, A.K., Al-Mazrooei, N.A., AlHabsi, S.H. (2011). Changes in Scomberotoxin (Histamine) and Volatile Amine (TVB-N) Formation in Longtail Tuna (*Thunnus tonggol*) Stored at Different Temperatures. Journal of Agricultural and Marine Sciences, 16, 13-22.

37. Zare Junqani, S., and Hosseini, S.V. (2017). Investigation of different methods of freezing on the quality characteristics of *Hypophthalmichthys molitrix*. *Fisheries, Journal of Natural resources*, *70*(3), 221-320

The effect of different thawing methods on the physicochemical quality of edible oyster (*Saccostrea cucullata*)

Abstract

Oyster (*Saccostrea cucullata*) is one of the most important edible oysters in Iran and the world. In this project, about 500 g of fresh oyster meat, which was collected from the rocky shores of Bandar Molem (Banderlange city) in the winter season, was extracted. For separate waste materials, the process of self-purification of oysters was carried out for 72 h in the environment of chlorine (2.5 ppm) and citric acid (0.2 $g.l^{-1}$). oyster meat was washed with clean and cool water and frozen at -24°C for 10 days and then thawing was done using ambient temperature (24°C), water (20°C), refrigerator with still air; RTSA (4±2°C) and refrigerator with blasting air; RTBA (4±2 °C). Then were calculated the thawing time (Tt), pH, water holding capacity (WHC), drop loss after thawing (DLt), drop loss after cooking (DLc), peroxide value (PV), thiobarbituric acid (TBA) and volatile nitrogen bases (TVB-N). The results of thawing time for a 120±10g block of oysters in thawing methods in air, water, refrigerator with still air, and refrigerator with blasting air were calculated as 42.3, 25, 56, 31.6 min, respectively. In general, pH, WHC, DLt, DLc, PV, TBA and TVB-N of *S. cucullata* oysters for thawing in the refrigerator with blasting air were reported, respectively; 6.38, 92%, 2.35%, 8.13%, 3.48 meq g O_2/Kg Fat, 1.12 mg MDA/Kg Fat and 10.91 mg N/100g flesh. The highest amount of TBA and TVB-N in the thawing at ambient temperature was 2.35 mg MDA/Kg Fat and 17.84 mg N/100g flesh, which was significantly different ($p<0.05$) from the thawing in the refrigerator with blasting air. Therefore, in order to preserve the quality of oysters, it is recommended to use the thawing method in a refrigerator with blasting air.

Key words: *Saccostrea cucullata* oyster, thawing, refrigerator with blasting air, freezing