

تأثیر برخی از عوامل شیمیایی بر فعالیت آنزیم‌های سرینوپروتئیناز تریپسین و کیموتریپسین در بچه ماهی نرس آزاد دریای خزر (*Salmo trutta caspius*)

عباس زمانی

استادیار گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، همدان، ایران

دریافت: ۱۳۹۴/۰۶/۰۵ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۹/۱۷

نویسنده مسئول مقاله: a.zamani@malayeru.ac.ir

چکیده:

اثر یون‌های فلزی، سورفاکتانت‌ها، عوامل اکسیدکننده و مهارکننده‌های آنزیمی بر فعالیت آنزیم‌های تریپسین و کیموتریپسین بچه ماهی نرس آزاد دریای خزر بررسی شد. یون‌های K^+ و Na^+ نسبت به نمونه شاهد اثر معناداری بر کاهش فعالیت آنزیم تریپسین و کیموتریپسین نداشت ($p > 0.05$). یون‌های Ca^{2+} و Mg^{2+} سبب افزایش معنادار و یون‌های Mn^{2+} ، Cu^{2+} ، Ba^{2+} ، Co^{2+} ، Zn^{2+} و Al^{3+} باعث کاهش معنادار فعالیت آنزیم تریپسین و کیموتریپسین شدند ($p < 0.05$). سورفاکتانت‌های ساپونین و اسید تاروکولیک باعث افزایش معنادار در فعالیت آنزیم تریپسین و کیموتریپسین نسبت به شاهد شدند ($p < 0.05$)، ولی سدیم کولات افزایش معناداری را بر فعالیت آنزیم تریپسین و کیموتریپسین نشان نداد ($p > 0.05$). عوامل اکسیدکننده پراکسید هیدروژن و سدیم پرپورات باعث کاهش معنادار فعالیت آنزیم تریپسین و کیموتریپسین گردید ($p < 0.05$). فعالیت آنزیم تریپسین و کیموتریپسین نسبت به شاهد در حضور مهارکننده‌های PMSF، SBTI و پارامینوبنزاآمیدین کاهش معناداری داشت ($p < 0.05$). مهارکننده‌های TPCK، پیاستاتین A، یدواستیک اسید، EDTA و بتامرکتواتانول بر روی فعالیت آنزیم تریپسین در مقایسه با شاهد کاهش معناداری نداشتند ($p > 0.05$). فعالیت آنزیم کیموتریپسین در حضور مهارکننده‌های TPCK، یدواستیک اسید، EDTA و بتامرکتواتانول کاهش معنادار داشت ($p < 0.05$). فعالیت آنزیم تریپسین در حضور مهارکننده TLCK کاهش معنادار نشان داد ($p < 0.05$). اثر مهارکننده‌های TLCK و پیاستاتین A روی فعالیت آنزیم کیموتریپسین در مقایسه با شاهد کاهش معناداری نداشت ($p > 0.05$). نتایج نشان داد فعالیت آنزیم‌های تریپسین و کیموتریپسین در بچه ماهی نرس آزاد دریای خزر تحت تأثیر عوامل شیمیایی ارزیابی شده در حداقل غلظت‌شان بود.

کلید واژگان: بچه ماهی نرس، آزاد دریای خزر، عوامل شیمیایی، کیموتریپسین

مقدمه

زیست بوم‌های آبی همواره با مشکلات ناشی از آلاینده‌ها مواجه هستند که از منابع مختلفی مانند فاضلاب‌های صنعتی، پساب کشاورزی و فاضلاب شهری در بیشتر مواقع بدون هیچ تصفیه‌ای به آب‌ها رها می‌شوند. این آلاینده‌ها در تبادل اکسیژن لایه‌های سطحی آب مانع ایجاد کرده و باعث بروز اختلال در موجودات آبی از جمله ماهیان می‌شوند (Shahsavani et al., 2003; Naji et al., 2009). از آنجایی که آب‌های سطحی و زیرزمینی یکی از مهم‌ترین منابع تأمین‌کننده آب مورد نیاز سیستم‌های پرورش ماهی هستند، از این‌رو آلودگی این منابع می‌تواند تهدیدی جدی برای آینده تکثیر و پرورش آبزیان در ایران باشد (Banaee et al., 2012). محیط‌زیست ماهیان و شرایط حاکم بر آن نظیر فصل، مواد غذایی، آلودگی و صید بر مقدار متابولیت‌ها تأثیر می‌گذارد (Heydari et al., 2013). امروزه با توجه به آلودگی آب‌ها به انواع ترکیبات شیمیایی و نقش آنها در آبی‌پروری، بررسی تأثیر این ترکیبات بر شاخص‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیک از جمله آنزیم‌های گوارشی مهم ارزیابی می‌شود، به‌طوری‌که متداول‌ترین عوامل بیوشیمیایی مورد بررسی در مطالعات آبزیان، آنزیم‌ها و پروتئین‌های درگیر در متابولیسم زدایی این ترکیبات هستند (Shokohi et al., 2012; Ghovati et al., 2013). از مهم‌ترین این ترکیبات می‌توان به یون‌های فلزی، سورفاکتانت‌ها^۱، عوامل اکسیدکننده و همچنین مهارکننده‌های آنزیمی اشاره کرد. یون‌های فلزی می‌توانند به‌عنوان الکتروفیل یا نوکلئوفیل و از طریق پیوندهای کئوردینانس، آنزیم و سوبسترا را به یکدیگر نزدیک کنند، ولی ویژگی یون‌ها بیشتر بستگی به توانایی آنها در اصلاح

ساختار آبی آنزیم‌ها دارد و می‌تواند محیط هیدراتاسیون آنزیم و فعالیت کاتالیزوری آن را تحت تأثیر قرار دهد (Glusker et al., 1999). اغلب پساب خروجی از صنایع، فاضلاب خانگی و آلودگی‌های نفتی، حاوی مخلوطی از مواد آلی، معدنی، کربوهیدرات، فلزهای سنگین و غیره است. از میان انواع منابع آلاینده، فلزهای سنگین به دلیل اثر سمی در محیط و ایجاد پدیده تجمع زیستی در آبزیان مختلف و در نتیجه تأثیر آنها در زنجیره غذایی آبزیان، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Faslebahar et al., 2009). سورفاکتانت‌ها یا عوامل فعال سطحی معمولاً ترکیباتی آلی و آمفی‌فیلیک^۲ هستند که باعث کاهش کشش سطحی آب شده و می‌توانند ویژگی‌های ذاتی آنزیم‌ها مانند ساختار دوم و سوم را با اتصال به آنزیم تحت تأثیر قرار داده و در نتیجه بر توانایی کاتالیزوری آنها تأثیرگذار باشند (Rosen and Kunjappu., 2012). این ترکیبات بیشتر در شوینده‌ها استفاده می‌شوند که شامل شوینده‌های آنیونی، کاتیونی و خنثی هستند (Heydari et al., 2013). عوامل اکسیدکننده ترکیباتی هستند که می‌توانند با گروه‌های تیول در آنزیم‌ها واکنش نشان داده و با جذب الکترون باعث اکسید شدن آنها شوند. بسیاری از عوامل اکسیدکننده قوی با تشکیل رادیکال‌های آزاد باعث اکسید شدن آنزیم‌ها می‌شوند که این واکنش ابتدا با جذب اتم هیدروژن موجود در کربن آلفا صورت گرفته و منجر به دناتوره شدن پروتئین می‌شود (Rubingh, 1996; Finnegan, 2010). مهارکننده‌ها آنزیمی نیز مولکول‌هایی هستند که با آنزیم واکنش نشان داده و مانع عملکرد طبیعی آن می‌شوند و در محیط‌های آبی و در برخی مواد غذایی وجود دارند. در بین آنزیم‌های گوارشی بدن ماهیان، سرینوپروتئینازهای^۳ روده به‌ویژه تریپسین و کیموتریپسین

2. Amphiphilic
1. Surfactant : surface active agent

1. Surfactant : surface active agent

نظر فیزیولوژیک آماده دریافت غذا و هضم آن بودند، برای تهیه عصاره آنزیمی استفاده شدند. برای جداسازی بچه ماهیان سالم از بچه ماهیان معیوب از استریومیکروسکوپ استفاده گردید.

تهیه عصاره آنزیمی

برای تهیه عصاره آنزیمی، نمونه بچه ماهی نوری آزاد دریای خزر در بافر ۵۰ میلی مولار تریس - HCl، ۷/۵ pH حاوی ۱۰ میلی مولار $CaCl_2$ و ۰/۵ مولار NaCl با نسبت ۱ به ۵۰ به مدت ۱ دقیقه با وجود یخ با دستگاه هموژنایزر، همگن شد و سوسپانسیون به دست آمده برای مدت ۴۵ دقیقه در دمای $4^{\circ}C$ در $14000g$ سانتریفیوژ گردید. سپس محلول رویی به عنوان عصاره خام آنزیمی برای ادامه آزمایش‌ها انتخاب گردید (Khantaphant and Benjakul, 2010).

سنجش فعالیت آنزیم تریپسین و کیموتریپسین

برای سنجش فعالیت آنزیم تریپسین و کیموتریپسین از روش Erlanger و همکاران (۱۹۶۱) استفاده گردید. برای سنجش فعالیت آنزیم تریپسین از سوبسترای BAPNA ($N\alpha$ -benzoyl-DL-arginine-p-nitroanilide-HCL) و برای سنجش فعالیت آنزیم کیموتریپسین از سوبسترای SAAPNA (N -Succinyl-AlaAla-Pro-phe-p-nitroanilide-HCL) استفاده گردید. جذب رها شده در طول موج ۴۱۰ نانومتر قرائت شد.

سنجش میزان پروتئین محلول

برای سنجش میزان پروتئین محلول از روش Lowry و همکاران (۱۹۵۱) استفاده گردید. در این روش از آلبومین سرم گاوی با غلظت $1mg/ml$ به عنوان استاندارد استفاده شد (شکل ۱).

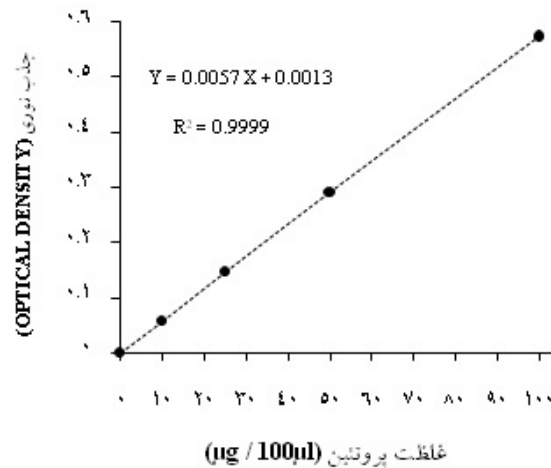
از نقش مؤثرتری در گوارش ترکیبات پروتئینی و هضم آنها برخوردارند. در جایگاه فعال این آنزیم‌ها اسید آمینه سرین به همراه اسید آمینه هیستیدین و آسپارتیک نقش اصلی فعالیت کاتالیزوری را بر عهده دارد (Garcia, 1992). میزان فعالیت این آنزیم‌ها می‌تواند تحت تأثیر عوامل شیمیایی قرار گیرد و بر میزان گوارش پروتئین‌ها تأثیرگذار باشد.

ماهی آزاد دریای خزر (*S. trutta caspius*) از جمله ماهیان مهاجر به آب شیرین است که برای تخم‌ریزی به رودخانه‌هایی مانند تنکابن و سردابه‌رود مهاجرت می‌کند (Zamani et al., 2009). امروزه دلایل متعددی از جمله افزایش میزان ترکیبات شیمیایی در محیط‌های آبی و استفاده از این منابع آبی در تکثیر و پرورش ماهی آزاد دریای خزر می‌تواند بر میزان فعالیت آنزیم‌های تریپسین و کیموتریپسین و قابلیت گوارش مواد پروتئینی به‌ویژه در مراحل آغازین رشد این گونه مهم و نادر دریای خزر تأثیرگذار باشد. هدف از این مطالعه، بررسی نقش یون‌های فلزی، سورفاکتانت‌ها، عوامل اکسیدکننده و مهارکننده‌های آنزیمی بر فعالیت آنزیم‌های تریپسین و کیموتریپسین در بچه ماهیان نوری آزاد دریای خزر است که حساسیت بیشتری به این ترکیبات دارند.

مواد و روش‌ها

نمونه ماهی

در این تحقیق تعداد ۶۰ عدد بچه ماهی سالم نوری آزاد دریای خزر با وزن ۱۰۰ میلی گرم که کیسه زرده آنها کاملاً جذب شده بود، از جاده دوهزار تنکابن تهیه شد. بچه ماهیان پس از تفریح در تراف پرورش یافته و زمانی که از



شکل ۱ منحنی استاندارد BSA با غلظت ۱ mg/ml. [محور X: غلظت پروتئین ($\mu\text{g} / 100\mu\text{l}$); محور Y: جذب نوری (Optical Density)]

اثر یون‌های فلزی

سویسترا- بافر (۱ میلی‌مولار BAPNA در بافر ۵۰ میلی‌مولار تریس - HCl، pH ۸، ۲۰ میلی‌مولار CaCl_2 برای تریپسین و ۰/۱ میلی‌مولار SAAPNA در بافر ۵۰ میلی‌مولار تریس - HCl، pH ۸، ۲۰ میلی‌مولار CaCl_2 برای کیموتریپسین) مخلوط شده و برای مدت ۲۰ دقیقه در دمای 37°C قرار گرفت. سپس قرائت نوری در طول موج ۴۱۰ nm انجام شد. روش سنجش نمونه شاهد نیز همانند نمونه آنزیمی بود فقط نمونه شاهد فاقد یون فلزی بود. سپس فعالیت نسبی آنزیم تریپسین و کیموتریپسین از طریق نسبت فعالیت اختصاصی آنزیم‌ها به فعالیت نمونه شاهد براساس فرمول زیر به صورت درصد گزارش گردید:

اثر یون‌های فلزی کلرید سدیم (NaCl)، کلرید پتاسیم (KCl)، کلرید کلسیم (CaCl_2)، کلرید منیزیم (MgCl_2)، کلرید مس (CuCl_2)، استات روی ($\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COOH})_2$)، کلرید منگنز (MnCl_2)، کلرید باریم (BaCl_2)، کلرید کبالت (CoCl_2)، سولفات آهن (FeSO_4) و سولفات آلومینیوم ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) در غلظت ۲ mM بر فعالیت آنزیم تریپسین و کیموتریپسین تعیین شد (Lu et al., 2008; Jellouli et al., 2009). برای این منظور، ابتدا نمونه آنزیمی با یون‌های فلزی با غلظت مذکور برای مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق انکوبه گردید. سپس مخلوط حاصل از انکوباسیون با محلول

$$\text{فعالیت اختصاصی یونهای فلزی در حضور آنزیم} \\ \text{فعالیت اختصاصی در آنزیم نمونه شاهد} \times 100 = \text{فعالیت نسبی (\%)}$$

اثر سورفاکتانت‌ها و عوامل اکسیدکننده

برای بررسی اثر این ترکیبات، ۲۰ میکرولیتر از نمونه آنزیمی با ۲۰ میکرولیتر از سورفاکتانت‌های ساپونین^۱، اسید تاروکولیک^۲ و سدیم کولات^۳ تا حصول غلظت نهایی ۱ درصد ترکیب شد. همچنین عوامل اکسیدکننده شامل سدیم پربورات^۴ با غلظت نهایی ۱ درصد و پراکسید هیدروژن^۵ با غلظت نهایی ۱۵ درصد نیز با نمونه آنزیمی ترکیب شدند. سپس عمل انکوباسیون برای مدت ۱ ساعت در دمای ۴۰°C انجام شد. سپس ۲۵ میکرولیتر از این ترکیب انکوبه شده را برداشته و با محلول سوپسترا- بافر (۱ میلی مولار BAPNA در بافر ۵۰ میلی مولار تریس- HCl، ۸ pH ۲۰ میلی مولار CaCl₂ برای تریپسین و ۰/۱ میلی مولار SAAPNA در بافر ۵۰ میلی مولار تریس- HCl، ۸ pH ۲۰ میلی مولار CaCl₂ برای کیموتریپسین) مخلوط شده و برای مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۳۷°C قرار گرفت. سپس قرائت نوری در طول موج ۴۱۰nm انجام شد. روش سنجش نمونه شاهد نیز همانند نمونه آنزیمی بود فقط نمونه شاهد فاقد این ترکیبات بود و از آب مقطر استفاده گردید (Jellouli et al., 2009; Erlanger et al., 1961). سپس فعالیت نسبی آنزیم تریپسین و کیموتریپسین از طریق نسبت فعالیت اختصاصی آنزیم‌ها به فعالیت نمونه شاهد بر اساس فرمول زیر بصورت درصد گزارش گردید:

فعالیت نسبی (%)

$$= \frac{\text{فعالیت اختصاصی در آنزیم حضور سورفاکتانت ها و عوامل اکسیدکننده}}{\text{فعالیت آنزیم اختصاصی در نمونه شاهد}} \times 100$$

اثر مهارکننده‌های آنزیمی

اثر مهارکننده‌های SBTI^۶ (۰/۰۵ mM) و TLCK^۷ (۵ mM) به‌عنوان بازدارنده‌های اختصاصی تریپسین، PMSF^۸ (۱۰mM) و پاراآمینوبنزاآمیدین^۹ (۵mM) به‌عنوان مهارکننده‌های پروتئازهای سرین، TPCK^{۱۰} (۵mM) به‌عنوان مهارکننده اختصاصی کیموتریپسین، پیاستاتین A^{۱۱} (۰/۰۱mM) به‌عنوان مهارکننده اختصاصی پروتئازهای آسپارتیک، یدواستیک اسید^{۱۲} (۱mM) به‌عنوان مهارکننده پروتئازهای سیستئین، EDTA^{۱۳} (۲mM) به‌عنوان مهارکننده متالوپروتئازها و بتامرکپتواتانول^{۱۴} (۵ mM) به‌عنوان یک عامل احیاکننده پیوند دی‌سولفید (S-S) بر فعالیت آنزیم تریپسین و کیموتریپسین ارزیابی شد. برای این منظور، ابتدا نمونه آنزیمی با مهارکننده‌ها برای ۱۵ دقیقه در دمای اتاق انکوبه گردید. سپس مخلوط به‌دست آمده از انکوباسیون با محلول سوپسترا - بافر (۱ میلی مولار BAPNA در بافر ۵۰ میلی مولار تریس- HCl، ۸ pH ۲۰ میلی مولار CaCl₂ برای تریپسین و ۰/۱ میلی مولار SAAPNA در بافر ۵۰ میلی مولار تریس- HCl، ۸ pH ۲۰ میلی مولار CaCl₂ برای کیموتریپسین) مخلوط شده و برای مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۳۷°C قرار گرفت. سپس قرائت نوری در طول موج ۴۱۰nm انجام شد. روش سنجش نمونه شاهد نیز همانند نمونه آنزیمی بود فقط نمونه شاهد

6. Soybean trypsin inhibitor

7. N-tosyl-L-Lysine Chloromethyl Ketone

8. Phenyl-methyl-sulfonyl fluoride

9. p-Aminobenzamidine

10. N-tosyl-L-Phenylalanine Chloromethyl Ketone

1. Pepstatin A

2. Iodoacetic acid

13. Ethylenediaminetetraacetic acid

4. β, mercaptoethanol

1. Saponin

2. Taurocholic acid

3. Sodium cholate

4. Sodium perborate

5. Hydrogen peroxide

اختصاصی آنزیم‌ها به فعالیت نمونه شاهد براساس فرمول زیر به صورت درصد گزارش شد:

فاقد مهارکننده بود (Khanthaphant and Benjakul, 2010; Erlanger et al., 1961). سپس فعالیت نسبی آنزیم تریپسین و کیموتریپسین از طریق نسبت فعالیت

$$\text{فعالیت اختصاصی در آنزیم نمونه حاوی نمونه مهارکننده} \times 100 = \frac{\text{فعالیت نسبی (\%)}}{\text{فعالیت اختصاصی آنزیم در نمونه شاهد}}$$

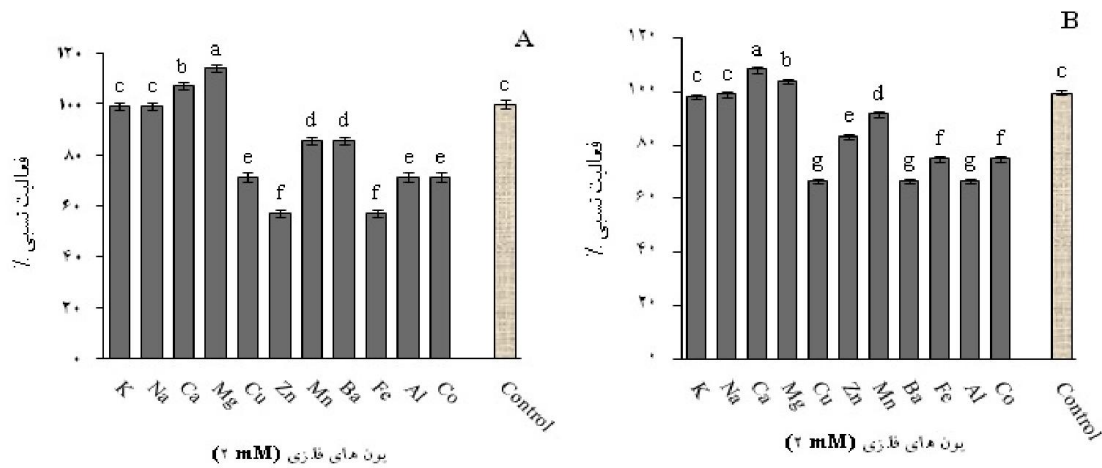
از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد استفاده شد. تمام ارزیابی‌ها نیز در ۳ تکرار انجام گرفت.

آنالیز آماری

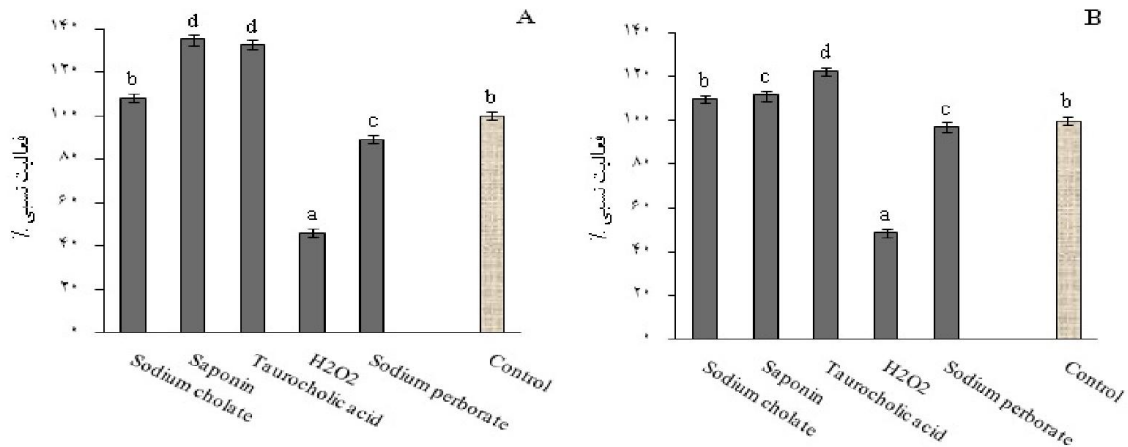
در این تحقیق، برای بررسی طبیعی بودن داده‌ها از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف استفاده شد و برای بررسی اثر یون‌های فلزی، سورفاکتانت‌ها، عوامل اکسیدکننده و مهارکننده‌های آنزیمی بر فعالیت آنزیم تریپسین و کیموتریپسین بچه ماهی نارس آزاد دریای خزر از آزمون تجزیه واریانس یک طرفه (ANOVA) تحت نرم‌افزار SPSS17 استفاده گردید و برای تعیین معنادار بودن اختلاف میانگین‌ها بین نمونه شاهد با یون‌های فلزی، سورفاکتانت‌ها، عوامل اکسیدکننده و مهارکننده‌های آنزیمی

نتایج

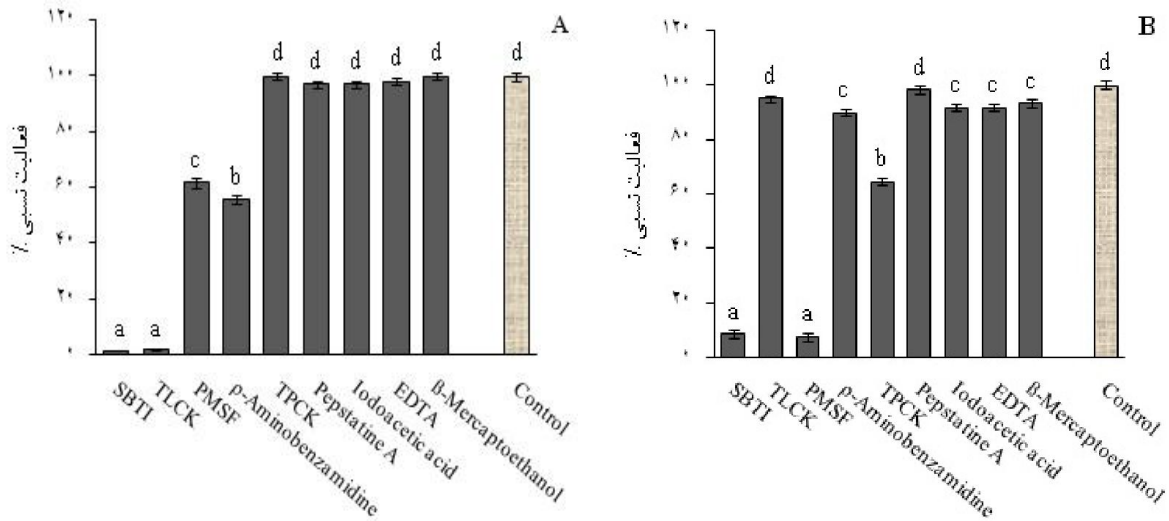
نتایج حاصل از بررسی اثر یون‌های فلزی، سورفاکتانت‌ها، عوامل اکسیدکننده و مهارکننده‌های آنزیمی بر فعالیت آنزیم تریپسین و کیموتریپسین بچه ماهی نارس آزاد دریای خزر در شکل‌های ۲ تا ۴ آمده است.



شکل ۲ اثر یون‌های فلزی با غلظت ۲ mM بر فعالیت آنزیم تریپسین (A) و کیموتریپسین (B) بچه ماهی نارس آزاد دریای خزر (*S. trutta caspius*). حروف کوچک غیرمشترک بیانگر اختلاف معنادار در فعالیت نسبی آنزیم است ($\alpha = 0/05$, $n = 3$, Mn \pm SD).



شکل ۳ اثر سورفاکتانت‌ها (سدیم کولات، ساپونین و اسید تاروکولیک با غلظت ۱ درصد) و عوامل اکسید کننده (پراکسید هیدروژن با غلظت ۱۵ درصد و سدیم پرورات با غلظت ۱ درصد) بر فعالیت آنزیم تریپسین (A) و کیموتریپسین (B) بچه ماهی نارس آزاد دریای خزر (*S. trutta caspius*). حروف کوچک غیرمشترک بیانگر اختلاف معنادار در فعالیت نسبی آنزیم است ($\alpha = 0/05$, $n = 3$, $Mn \pm SD$).



شکل ۴ اثر مهارکننده‌های آنزیمی بر فعالیت آنزیم تریپسین (A) و کیموتریپسین (B) بچه ماهی نارس آزاد دریای خزر (*S. trutta caspius*). حروف کوچک غیرمشترک بیانگر اختلاف معنادار در فعالیت نسبی آنزیم است ($\alpha = 0/05$, $n = 3$, $Mn \pm SD$).

فعالیت آنزیم تریپسین و کیموتریپسین اختلاف معناداری را با نمونه شاهد نشان ندادند ($p > 0/05$). یون‌های Ca^{2+} و Mg^{2+} باعث افزایش معناداری در فعالیت آنزیم تریپسین و

اثر یون‌های فلزی بر فعالیت آنزیم تریپسین و کیموتریپسین بچه ماهی نارس آزاد دریای خزر در شکل ۲ (A و B) نشان داده شده است. اثر یون‌های Na^+ و K^+ بر

به طوری که بین SBTI و TLCK اختلاف معناداری مشاهده نگردید ولی این مهارکننده‌ها نسبت به PMSF و پارا آمینوز آمیدین کاهش معناداری را نشان دادند ($p > 0.05$). مهارکننده‌های TPCK، پیوستاتین A، یدواستیک اسید، EDTA و بتامرکتواتانول بر روی فعالیت آنزیم تریپسین در مقایسه با نمونه شاهد کاهش معناداری را نشان ندادند ($p > 0.05$).

فعالیت آنزیم کیموتریپسین در مقایسه با نمونه شاهد در حضور مهارکننده‌های SBTI، PMSF، پارا آمینوز آمیدین، TPCK، یدواستیک اسید، EDTA و بتامرکتواتانول کاهش معناداری را نشان داد ($p < 0.05$). به طوری که بین SBTI و PMSF و پارا آمینوز آمیدین، یدواستیک اسید، EDTA و بتامرکتواتانول اختلاف معناداری مشاهده نشد ($p > 0.05$). مهارکننده‌های TLCK و پیوستاتین A بر روی فعالیت آنزیم کیموتریپسین در مقایسه با نمونه شاهد کاهش معناداری را نشان ندادند ($p > 0.05$).

بحث

مطالعه عوامل شیمیایی بر روی فعالیت آنزیم‌های تریپسین و کیموتریپسین در بچه ماهی نارس آزاد دریای خزر نشان داد که این عوامل می‌توانند بر روی فعالیت آنزیم‌های مورد مطالعه تأثیرگذار باشند. یون‌های فلزی ترکیباتی هستند که توانایی تغییر جریان الکترون در یک سوسترا یا آنزیم را داشته و به طور مؤثری واکنش کاتالیز شده توسط آنزیم را کنترل می‌کنند. یون‌های فلزی با اتصال به گروه‌های کربونیل و آمین زنجیره اصلی یا از طریق اتصال به زنجیره جانبی اسید آمینه به‌ویژه گروه‌های کربوکسیلات اسید آسپارتیک و اسید گلوتامیک و حلقه اتم نیتروژن هیستیدین می‌توانند در انجام فعالیت کاتالیزوری آنزیم تأثیرگذار باشند. اسید آمینه‌های تریپتوفان، سیستئین، متیونین، سرین،

کیموتریپسین نسبت به نمونه شاهد شدند ($p < 0.05$). فعالیت آنزیم تریپسین در حضور Mg^{2+} به‌طور معناداری بیشتر از Ca^{2+} بود ($p < 0.05$). در حالی که فعالیت آنزیم کیموتریپسین در حضور Ca^{2+} به‌طور معناداری بیشتر از Mg^{2+} بود ($p < 0.05$). یون‌های Co^{2+} ، Ba^{2+} ، Cu^{2+} ، Mn^{2+} ، Fe^{2+} و Zn^{2+} باعث کاهش معناداری در فعالیت آنزیم تریپسین و کیموتریپسین نسبت به نمونه شاهد شدند ($p < 0.05$) به طوری که بین یون‌های Co^{2+} ، Cu^{2+} و Al^{3+} و بین Zn^{2+} و Fe^{2+} و یون‌های Mn^{2+} و Ba^{2+} اختلاف معناداری در فعالیت آنزیم تریپسین مشاهده نشد ($p > 0.05$). فعالیت آنزیم کیموتریپسین در حضور یون‌های Co^{2+} ، Ba^{2+} و Al^{3+} و بین یون‌های Co^{2+} و Fe^{2+} اختلاف معناداری مشاهده نگردید ($p > 0.05$).

در شکل ۳ اثر سورفاکتانت‌ها و عوامل اکسیدکننده بر فعالیت آنزیم تریپسین (A) و کیموتریپسین (B) نشان داده شده است. سورفاکتانت‌های ساپونین و اسید تاروکولیک باعث افزایش معناداری در فعالیت آنزیم تریپسین و کیموتریپسین نسبت به نمونه شاهد شدند ($p < 0.05$) ولی بین ساپونین و اسید تاروکولیک اختلاف معناداری مشاهده نشد ($p > 0.05$). سدیم کولات باعث افزایش فعالیت آنزیم تریپسین و کیموتریپسین در مقایسه با نمونه شاهد گردید ولی اختلاف معناداری را نشان نداد ($p > 0.05$). عوامل اکسیدکننده پراکسید هیدروژن و سدیم پربورات باعث کاهش معناداری در فعالیت آنزیم تریپسین و کیموتریپسین نسبت به نمونه شاهد شدند ($p < 0.05$).

اثر مهارکننده‌ها بر فعالیت آنزیم تریپسین و کیموتریپسین در شکل ۴ (A و B) نشان داده شده است. نتایج نشان داد فعالیت آنزیم تریپسین نسبت به نمونه شاهد در حضور مهارکننده‌های SBTI، TLCK، PMSF و پارا آمینوز آمیدین کاهش معناداری دارد ($p < 0.05$).

تأثیر یون‌های مس، روی، منگنز، باریم، کبالت، آهن و آلومینیوم کاهش می‌یابد. چنین نتایجی از سوی Lu و همکاران (۲۰۰۸) در ماهی ماندارین (S. chuatsi)، Ali و همکاران (۲۰۰۹) در شانگ مخطط (Lithognathus Balti, mormyrus) و همکاران (۲۰۱۲) در ماهی مرکب (S. officinalis) و همکاران (۲۰۱۲) در زبرا بلنی (S. basilisca) و Zamani و همکاران (۲۰۱۴) در کیلکای معمولی (C. cultriventriscaspia) نیز گزارش شد. سورفاکتانت‌ها ترکیباتی هستند که از طریق اتصال مستقیم با آنزیم‌ها یا تغییر محیط عملکرد آنها، بر توانایی کاتالیزوری آنزیم‌ها تأثیر گذاشته به نحوی که در غلظت‌های بالا باعث دناتورده شدن آنزیم‌ها می‌شوند. ولی در غلظت‌های پایین تغییری در ساختار آنزیم ایجاد نکرده و حتی می‌تواند باعث افزایش جزئی در فعالیت آن نیز شوند. احتمالاً این امر می‌تواند به دلیل تجمع این ترکیبات در مکان‌هایی از آنزیم که حاوی انرژی بالایی هستند، رخ دهد. ولی در غلظت‌های بالای سورفاکتانت به دلیل دناتورده شدن ساختار آنزیم‌ها افت قابل توجهی در فعالیت آنها مشاهده می‌شود (Rubingh, 1996). تأثیر سورفاکتانت‌ها بر فعالیت آنزیم تریپسین و کیموتریپسین در بچه ماهی نوس آزاد دریای خزر با نتایج به دست آمده در ماهیان تریگر خاکستری (Jellouli et al., 2009) (Balistes capticus) (Esposito, 2009) (Colossoma macropomum) (Zamani et al., 2009) (S. basilisca) (Ktari et al., 2012) و کیلکای معمولی (Zamani et al., 2014) (C. cultriventriscaspia) همخوانی دارد. نتایج این مطالعه نشان داد که آنزیم تریپسین و کیموتریپسین در حضور عوامل اکسیدکننده (سدیم پربورات و پراکسید هیدروژن) ناپایدار است و از فعالیت آن کاسته می‌شود. چنین نتایجی در ماهیان تریگر خاکستری (Jellouli et al., 2009) (B. capticus)

ترئونین، تیروزین، آسپاراژین و گلوتامیناز دیگر زنجیره‌های جانبی آنزیم برای اتصال یون‌های فلزی محسوب می‌شوند. محیط الکترواستاتیک در جایگاه فعال آنزیم یک عامل عمده برای هدایت سوسترها به جایگاه اتصال در جهت صحیح خود است که یون‌های فلزی می‌توانند در این روند شرکت کرده و در نتیجه به کنترل عملکرد آنزیم کمک کنند (Glusker et al., 1999).

یون‌های فلزیکلسیم و منیزیم باعث افزایش فعالیت آنزیم تریپسین و کیموتریپسین در بچه ماهی نوس آزاد دریای خزر شدند. یافته‌های مربوط به اثر کلسیم و منیزیم بر فعالیت آنزیم تریپسین و کیموتریپسین با مطالعات انجام شده در سه گونه از تن ماهیان شامل تن زردباله (Thunnus albacores) هوورمسقطی (Katsuwonus pelamis) و بلوفین شمالی (Thunnus tonggol) (Klomkloet al., 2004) ساردین (Sardinops melanostictus) و گرینلینگ (Kishimura et al., 2006) (Pleuroprammus azonus) ماندارین (Lu et al., 2008) (Siniperca chuatsi)، زبرا بلنی (Ktari et al., 2012) (Salaria basilisca)، ماهی مرکب (Balti et al., 2012) (Sepia officinalis) و کیلکای معمولی (Zamani et al., 2014) (Clupeonella cultriventriscaspia) همخوانی دارد. درباره اثر یون‌های فلزی بر فعالیت آنزیم تریپسین و کیموتریپسین باید گفت که آنها می‌توانند به عنوان کوفاکتور در افزایش فعالیت آنزیمی ایفای نقش کنند و یا در برخی موارد باعث کاهش فعالیت آنزیم شوند. در این بین، کاتیون‌های دو ظرفیتی نقش مؤثرتری بر فعالیت آنزیم تریپسین دارند، به طوری که یون‌های کلسیم و منیزیم باعث افزایش فعالیت آنها می‌شوند و برخی دیگر مانند جیوه، مس، نقره و روی از فعالیت آنزیم جلوگیری می‌کنند (Green and Neurath, 1953). فعالیت آنزیم‌های تریپسین و کیموتریپسین تحت

- (Sardina et al., 2006)(Kurtovic et al., 2006)(tshawytscha, ساردین)
- (Lutjanus pilchardus)(Bougatef et al., 2007) سرخو
- (Khantaphant and Benjakul, 2010)(Cultriventrus caspia) (vitta)
- (Cultriventrus caspia)(Marcuschi et al., 2010) تامباکویی
- (Diapterus rhombeus)(Silva et al., 2010) موجارای نقره‌ای
- (S. basilisca) (Krtati et al., 2012) (al., 2011) زیرا بلنی
- (S. officinalis)(Balti et al., 2012) ماهی مرکب
- (Zamani et al., 2014)(Cultriventrus caspia) معمولی
- (Cultriventrus caspia) همخوانی داشت. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان بیان کرد که فعالیت آنزیم‌های تریپسین و کیموتریپسین بچه ماهی نارس آزاد دریای خزر تحت تأثیر یون‌های فلزی، سورفاکتانت‌ها، عوامل اکسیدکننده و مهارکننده‌های آنزیمی در حداقل غلظت‌شان بوده و بنابراین توجه به مسائل زیست محیطی و کنترل آلودگی می‌تواند در رشد بهینه بچه ماهیان مؤثر باشد.
- منابع**
- Ali, N.E.H., Hmidet, N., Bougatef, A., Nasri, R., and Nasri, M., 2009.** A Laundry Detergent-Stable Alkaline Trypsin from Striped Seabream (*Lithognathus mormyrus*) Viscera: Purification and Characterization. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 57(22): 10943–10950.
- Balti, R., Bougherra, F., Bougatef, A., Hayet, B. K., Nedjar-Arroume, N., Dhulster, P., Guillochon, D. and Nasri, M., 2012.** Chymotrypsin from the hepatopancreas of cuttlefish (*Sepia officinalis*) with high activity in the hydrolysis of long chain peptide substrates: Purification and biochemical characterization. *Food Chemistry*. 130 (3) : 475–484.
- Banaee, M., Mirvaghefi, A. R., Sureda, A., Rafiee, G. R. and Ahmadi, K., 2012.** Blood Biochemical and Liver Histopathological Changes in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Following Exposure to Sub-Lethal Concentrations of Diazinon. *Journal of Natural Environment, Iranian Journal of Natural Resources*. 65(3): 297-313.
- (2009) تامباکویی (Esposito et al., 2009)(Cultriventrus caspia)
- (2009) زیرا بلنی (Ktari et al., 2012) (S. basilisca) و
- کیلکای معمولی (Zamani et al., 2014)(Cultriventrus caspia)
- (2014) نیز گزارش شد. تحقیقات نشان می‌دهند که بسیاری از پروتئازها در حضور عوامل اکسیدکننده مانند پراکسید هیدروژن ناپایدار هستند (Jellouli et al., 2009). عوامل اکسیدکننده ترکیباتی هستند که می‌توانند با گروه‌های تیول در آنزیم‌ها و پروتئین‌ها واکنش بسیار قوی داشته باشند. بسیاری از عوامل اکسیدکننده می‌توانند با تشکیل رادیکال‌های آزاد باعث اکسیدشدن پروتئین شوند که این امر در ابتدا با جذب اتم هیدروژن موجود در کربن آلفا پروتئین صورت می‌گیرد و سرانجام منجر به دناتوره شدن آن می‌شود (Finnegan et al., 2010).
- مهارکننده‌های آنزیمی ترکیباتی شبه سوبسترا بوده که می‌توانند با جایگاه فعال آنزیم واکنش داده و از اتصال سوبسترای حقیقی با آن جلوگیری کنند و باعث غیرفعال شدن آنزیم شوند (Garcia-Carenno, 1992; Zamani et al., 2014) مهارکننده‌ها در گونه‌های مختلف ماهیان اثرهای بازدارندگی متفاوتی دارند که می‌تواند با محیط‌زندگی و مسائل ژنتیکی ماهیان در ارتباط باشد (Lu et al., 2008) مهارکننده‌های اختصاصی آنزیم تریپسین شامل SBTI و TLCK و مهارکننده اختصاصی آنزیم کیموتریپسین شامل TPCK و همچنین مهارکننده‌های پروتئاز سرین شامل PMSF و پاراآمینوبنزامیدین و سایر مهارکننده‌ها شامل پیاستاتین A، یدواستیک اسید، EDTA و بتامرکپتواتانول دارای اثر مهارکنندگی روی آنزیم تریپسین و کیموتریپسین در بچه ماهی نارس آزاد دریای خزر بودند. نتیجه این مطالعه با مطالعات انجام شده در ماهیان ساردین مونتری (Sardinops sagax caerulea) (Castillo-Yanez et al., 2005) آزاد چینوک (*Oncorhynchus*)

exposed to the anionic detergents. *Journal of oceanography*.4(14): 69-76.

Jellouli, K., Bougatef, A., Daassi, D., Balti, R., Barkia, A. and Nasri, M., 2009. New alkaline trypsin from the intestine of Grey triggerfish (*Balistes capticus*) with high activity at low temperature: Purification and characterization. *Food Chemistry*. 116(3): 644-650.

Khantaphant, S. and Benjakul, S., 2010. Purification and characterization of trypsin from the pyloric Caeca of brownstripe red snapper (*Lutjanus vitta*). *Food Chemistry*. 120(3): 658-664.

Kishimura, H., Hayashi, K., Miyashita, Y. and Nonami, Y., 2006. Characterization of trypsins from the viscera of true sardine (*Sardinops melanostictus*) and the pyloric caeca of arabesque greenling (*Pleurogrammus azonus*). *Food Chemistry*. 97(1): 65-70.

Klomklao, S., Benjakul, S., and Visessanguan, W., 2004. Comparative studies on proteolytic activities of splenic extract from three tuna species commonly used in Thailand. *Journal of Food Biochemistry*.28(5): 355-372.

Ktari, N., Ben Khaled, H., Nasri, R., Jellouli, K., Ghorbel, S., and Nasri, M., 2012. Trypsin from zebra blenny (*Salaria basilisca*) viscera: Purification, characterisation and potential application as a detergent additive. *Food Chemistry*. 130(3): 467-474.

Kurtovic, I., Marshall, S.N., and Simpson, B.K., 2006. Isolation and characterization of a trypsin fraction from the pyloric ceca of chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *Comparative Biochemistry and Physiology B*. 143(4): 432-440.

Lowry, O. H., Rosebrough, N. J., Farr, A. L., and Randall, R. J., 1951. Protein measurement with the folin phenol reagent. *Journal of Biological Chemistry*. 193(1): 265-275.

Lu, B.J., Zhou, L.G., Cai, Q.F., Hara, K., Maeda, A., Su, W.J., and Cao M.J., 2008. Purification and characterisation of trypsins from the pyloric caeca of Mandarin fish (*Siniperca chuatsi*). *Food Chemistry*. 110(2): 352-360.

Marcuschi, M., Espósito, T.S., Machado, M.F.M., Hirata, I.Y., Machado, M.F.M., Silva, M.V., Carvalho, L.B., Oliveira, V., and Bezerra, R.S., 2010. Purification, characterization and substrate specificity of a trypsin from the Amazonian fish

Bougatef, A., Souissi, N., Fakhfakh, N., Ellouz-Triki, Y., and Nasri, M., 2007. Purification and characterisation of trypsin from the viscera of sardine (*Sardina pilchardus*). *Food Chemistry*. 102(1): 343-350.

Castillo-Yanez, F., Pacheco-Aguilar, R., Garcia-Carreno, F. and Toro, M., 2005. Isolation and characterization of trypsin from pyloric caeca of Monterey sardine, *Sardinops sagax caerulea*. *Comparative and Biochemistry physiology B*. 140(1): 91-98.

Erlanger, B., Kokowsky, N. and Cohen, W., 1961. The preparation and properties of two new chromogenic substrates of trypsin. *Archives of Biochemistry and Biophysics*.95: 271-278.

Esposito, T.S., Amaral, I.P.G., Buarque, D.S., Oliveira, G.B., Carvalho, L.B., and Bezerra, R.S., 2009. Fish processing waste as a source of alkaline proteases for laundry detergent. *Food Chemistry*.112(1): 125-130.

Faslebahar, S., Emtiazjoo M., Monavari M., Eghtesadi P. and Shahabi B., 2009. Superoxide Dismutase Enzyme, As A Biomarker Of Heavy Metals (Ni, Co, V) In Barnacle In Bahragan Area. *Biological Sciences (Danesh Zisti Iran)*, 4(2): 9-18.

Finnegan, M., Linley, E., Denyer, S.P., McDonnell, G., Simons, C. and Maillard, J.Y., 2010. Mode of action of hydrogen peroxide and other oxidizing agents: differences between liquid and gas forms. *Journal of Antimicrobial Chemother.* 65(10): 2108-2115

Garcia-Carenno F.L., 1992. Protease inhibition in theory and practice. *Biotechnology Education*. 3(4): 145-150.

Ghovati, N., Mohammadi, S. and Mohammadi, V., 2012. Assess changes in hardness and alkalinity on the toxicity of zinc poisoning in common carp (*Cyprinus carpio*). *Journal of Wetland Ecobiology*, 2(8): 21-28.

Glusker, J.P., Katz, A.K. and Bock, C.W., 1999. Metal ions in biological systems. *The Rigaku Journal*.16 (2): 8-17.

Green, N.M. and Neurath, H., 1953. The effects of divalent cations on trypsin. *The Journal of Biological Chemistry* .204(1): 379-390.

Heydari, B., Golchinrad, A., Haghi, N. and Yavari, L., 2013. Study on physiological responses of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*)

responses of the Silver Carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) under acute exposure to copper nitrate. *Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics*. 2(2): 143-152.

Silva, J.F., Esposito, T.S., Marcuschi, M., Ribeiro, K., Cavalli, R.O., Oliveira, V., and Bezerra R.S., 2011. Purification and partial characterisation of a trypsin from the processing waste of the silver mojarra (*Diapterus rhombeus*). *Food Chemistry*. 129(3): 777-782.

Zamani, A., Hajimoradloo, A., Madani, R. and Farhangi, M., 2009. Assessment of digestive enzymes activity during the fry development of the endangered Caspian brown trout (*Salmo caspius*). *Journal of Fish Biology*. 75(4): 932-937.

Zamani A, Rezaei M, Madani R and Habibi Rezaie M., 2014. Trypsin Enzyme from Viscera of Common Kilka (*Clupeonella cultriventris caspia*): Purification, Characterization, and Its Compatibility with Oxidants and Surfactants. *Journal of Aquatic Food Product Technology*. 23: 237-252.

tambaqui (*Colossoma macropomum*). *Biochemical and Biophysical Research Communications*. 396(3): 667-673.

Naji, T., Khara, H., Rostami, M. and Nasiri Parman, E., 2009. Effect of ammonia toxicity on the liver of common carp (*Cyprinus carpio*). *Environmental Sciences and Technology*. 11: 131-148.

Rosen, M.J. and Kunjappu, J.T., 2012. *Surfactants and Interfacial Phenomena* (4th ed.). Hoboken, New Jersey, John Wiley & Sons. 576 p.

Rubingh, D.N., 1996. The influence of surfactants on enzyme activity. *Current Opinion in Colloids & Interface Science*. 1(5): 598-603.

Shahsavani, D., Mehri, M., and Nazari, K., 2003. Assessment of anionic detergent (shampoo) effect on hematological parameters of *Carassius auratus*. *Journal of Pajoohesh & Sazandegi - Animal and Aquaculture*. 61: 99-103.

Shokohi, S., Abdali, S., Yousefi Jourdehi, A. and H. Negarestan., 2013. Investigation on biochemical

The effect of some chemical factors on serinoproteinases activity of trypsin and chymotrypsin in Caspian brown trout (*Salmo trutta caspius*) fry

Abbas Zamani

Assistant Professor, Fisheries Department, Faculty of Natural Resources and Environmental, Malayer University, Malayer, Iran

Received : 27.01.2015 Accepted : 08.12.2015

Corresponding author : a.zamani@malayeru.ac.ir

Abstract:

The effect of metal ions, surfactant, oxidizing agents and enzyme inhibitors was considered on trypsin and chymotrypsin activity of the Caspian brown trout fry. The results showed K^+ and Na^+ didn't significantly decrease trypsin and chymotrypsin activity ($p>0.05$). Ca^{2+} and Mg^{2+} significantly increased trypsin and chymotrypsin activity ($p<0.05$). Mn^{2+} , Cu^{2+} , Ba^{2+} , Co^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{2+} and Al^{3+} significantly decreased the activity of trypsin and chymotrypsin ($p<0.05$). Saponin and taurocholic acid significantly increased trypsin and chymotrypsin activity. Sodium cholate significantly increased chymotrypsin activity ($p<0.05$), but not the trypsin activity ($p>0.05$). Oxidizing agents, including hydrogen peroxide and sodium perborate, significantly decreased trypsin ($p<0.05$). Trypsin and chymotrypsin activity significantly decreased in the presence of SBTI, PMSF and ρ -Aminobenzamidine inhibitors ($p>0.05$). The inhibitors such as TPCK, pepstatinA, iodoacetic acid, EDTA and β -mercaptoethanol did not significantly decrease the trypsin activity ($p>0.05$), but they significantly decreased chymotrypsin activity ($p<0.05$). Trypsin activity in the presence of TLCK showed a significant decrease ($p<0.05$), but TLCK and pepstatin A had no significant effect on chymotrypsin activity ($p>0.05$).

Keywords: Fry, Caspian brown trout, Chemical factors, Chymotrypsin