

Phân tích hàm lượng các nguyên tố độc hại bằng kỹ thuật huỳnh quang tia X phản xạ toàn phần (TXRF) trong cá ngừ (*Thunnus albacares*) đánh bắt ở vùng biển Quy Nhơn (tỉnh Bình Định)

Nguyễn Văn Hải¹, Nguyễn Thị Minh Sang¹, Nguyễn Quang Thi², Nguyễn An Sơn^{1,*}

TÓM TẮT

Cá ngừ (*Thunnus albacares*) chứa acid béo omega-3 giúp cải thiện sức khỏe tim mạch và giảm cholesterol. Cá ngừ vây vàng có hàm lượng protein cao và ít calory, tuy nhiên, có thể chứa một số nguyên tố độc hại nếu hàm lượng cao sẽ ảnh hưởng đến sức khỏe người tiêu dùng. Theo Tổ chức y tế thế giới (WHO), bốn nguyên tố gồm arsenic (As), cadmium (Cd), thủy ngân (Hg) và chì (Pb) được xếp vào nhóm độc hại bảng A. Bài báo này trình bày việc sử dụng kỹ thuật huỳnh quang tia X phản xạ toàn phần (TXRF) để phân tích hàm lượng các nguyên tố trên trong mô thịt cá ngừ tươi thu thập tại chợ Đầm, thành phố Quy Nhơn, tỉnh Bình Định. Kết quả cho thấy hàm lượng các nguyên tố độc hại trong các mẫu mô tươi của cá ngừ gồm: As (dạng vô cơ): $0,05 \pm 0,02 \text{ mg.kg}^{-1}$, Cd: $0,03 \pm 0,01 \text{ mg.kg}^{-1}$ và Pb: $0,08 \pm 0,02 \text{ mg.kg}^{-1}$. Theo Cơ quan An toàn thực phẩm Châu Âu (European Food Safety Authority, EFSA), lượng tiêu thụ ước lượng cho phép hằng ngày (estimated using the daily intake, EDI) của các nguyên tố: As dạng vô cơ, Cd, Pb và Hg lần lượt không vượt quá 0,3; 1,0; 0,4 và $0,3 \text{ } \mu\text{g.kg}^{-1}$ thể trọng/ngày. Chỉ số EDI xác định được bao gồm: i/ As dạng vô cơ đối với người lớn là $0,037 \text{ } \mu\text{g.kg}^{-1}$ thể trọng/ngày, trẻ em là $0,133 \text{ } \mu\text{g.kg}^{-1}$ thể trọng/ngày. ii/ Cd đối với người lớn là $0,022 \text{ } \mu\text{g.kg}^{-1}$ thể trọng/ngày, trẻ em là $0,080 \text{ } \mu\text{g.kg}^{-1}$ thể trọng/ngày. iii/ Pb đối với người lớn là $0,059 \text{ } \mu\text{g.kg}^{-1}$ thể trọng/ngày, trẻ em là $0,21 \text{ } \mu\text{g.kg}^{-1}$ thể trọng/ngày. Tương tự như vậy đối với Hg, hàm lượng trung bình thấp hơn giới hạn phát hiện và thấp hơn giá trị cho phép, giá trị EDI thấp hơn giá trị tham chiếu trong hầu hết các mẫu khảo sát (93%). Cụ thể, ở người lớn hàm lượng Hg là $0,081 \text{ } \mu\text{g.kg}^{-1}$ thể trọng/ngày, trẻ em là $0,293 \text{ } \mu\text{g.kg}^{-1}$ thể trọng/ngày, chỉ có 2 mẫu phân tích có giá trị EDI vượt hơn Tiêu chuẩn an toàn thực phẩm Châu Âu ở mức $0,523 \text{ } \mu\text{g.kg}^{-1}$ thể trọng/ngày và $0,877 \text{ } \mu\text{g.kg}^{-1}$ thể trọng/ngày. Nhìn chung, hàm lượng bốn nguyên tố độc hại trong mẫu cá thu thập tại chợ Đầm, thành phố Quy Nhơn cho thấy an toàn cho người sử dụng, đáp ứng Tiêu chuẩn an toàn thực phẩm Châu Âu.

Từ khóa: Cá ngừ (*Thunnus albacares*), chợ Đầm, nguyên tố độc hại, Tiêu chuẩn an toàn thực phẩm Châu Âu

¹Trường Đại học Đà Lạt, Đà Lạt, Lâm Đồng, Việt Nam

²Trường THPT Huỳnh Thúc Kháng, Vạn Giã, Vạn Ninh, Khánh Hòa, Việt Nam

Liên hệ

Nguyễn An Sơn, Trường Đại học Đà Lạt, Đà Lạt, Lâm Đồng, Việt Nam

Email: sonna@dlu.edu.vn

Lịch sử

- Ngày nhận: 15-3-2024
- Ngày sửa đổi: 10-5-2024
- Ngày chấp nhận: 12-9-2024
- Ngày đăng: 30-9-2024

DOI:

<https://doi.org/10.32508/stdjns.v8i1.1378>



Bản quyền

© ĐHQG Tp.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



GIỚI THIỆU

Hải sản là nguồn cung cấp protein, acid béo omega-3, acid béo không bão hòa, vitamin, chất dinh dưỡng vi lượng và đa lượng trong chế độ ăn uống của con người, là nguồn tiêu thụ ngày càng tăng cao trên thế giới¹. Nếu trong khẩu phần ăn hằng ngày, cá được sử dụng nhiều có thể giúp làm giảm các bệnh mãn tính và làm giảm bệnh ung thư vú². Cá ngừ là một trong những loại cá được tiêu thụ rộng rãi nhất trên thế giới, một phần do chất lượng và hương vị của nó. Theo thống kê vào năm 2015, tiêu thụ cá ngừ đóng hộp trên thế giới và Hoa Kỳ là rất cao, ước tính bình quân đầu người từ 1,0–1,36 kg/năm³. Nguồn kim loại chính trong mô cá nói chung và cá ngừ nói riêng là từ ô nhiễm do môi trường biển⁴. Ô nhiễm môi trường nước của biển bắt nguồn từ các

nguồn tự nhiên như kim loại bị rò rỉ từ lớp vỏ trái đất, các hoạt động của con người như chất thải công nghiệp, nước thải đô thị, nông nghiệp và chất thải rắn⁵. Theo các nhà dinh dưỡng, kim loại có thể chia thành hai nhóm: nhóm thiết yếu và không thiết yếu. Các kim loại thiết yếu như đồng (Cu), selenium (Se), sắt (Fe), crom (Cr), mangan (Mn) và kẽm (Zn), các kim loại này đều quan trọng cho quá trình trao đổi chất trong cơ thể. Các kim loại không thiết yếu như nhôm (Al), vanadium (V), crom (Cr), coban (Co), nickel (Ni), arsenic (As), molybden (Mo), cadmium (Cd), antimon (Sb), thủy ngân (Hg), chì (Pb) là không cần thiết cho quá trình phát triển của con người, có thể gây nguy hại đến sức khỏe khi hàm lượng tồn dư cao^{6,7}. Trong những kim loại không thiết yếu, có 4 nguyên tố As, Cd, Pb và Hg được WHO xếp vào nhóm độc hại bảng A, là những nguyên tố độc vi lượng, nên

Trích dẫn bài báo này: Hải N V, Sang N T M, Thi N Q, Sơn N A. Phân tích hàm lượng các nguyên tố độc hại bằng kỹ thuật huỳnh quang tia X phản xạ toàn phần (TXRF) trong cá ngừ (*Thunnus albacares*) đánh bắt ở vùng biển Quy Nhơn (tỉnh Bình Định). *Sci. Tech. Dev. J. - Nat. Sci.* 2024; 8(3):3089-3098.

cho dù hàm lượng nhỏ cũng có thể ảnh hưởng đến sức khỏe của người sử dụng.

Mặc dù các kim loại vi lượng độc hại thường tồn tại với hàm lượng thấp trong môi trường đại dương, nhưng chúng đặc biệt nguy hiểm do đặc tính tích lũy sinh học và ngưng tụ sinh học trong chuỗi thức ăn⁸. Tiêu thụ thực phẩm có chứa kim loại độc có thể gây ra các mối nguy hiểm cho sức khỏe con người như rối loạn chức năng thận và ung thư trong trường hợp bị nhiễm Cd⁹; bệnh Alzheimer, trong trường hợp nhiễm Hg¹⁰; khiếm khuyết về nhận thức và thần kinh trong trường hợp nhiễm Pb¹¹; thay đổi sắc tố và chứng dày sừng trong trường hợp nhiễm arsenic (As)¹² v.v.. Vì thế, Cơ quan Bảo vệ Môi trường Hoa Kỳ (USEPA), Tổ chức Lương thực và Nông nghiệp (FAO) và WHO đã đưa ra các giới hạn tiêu chuẩn hàm lượng các nguyên tố trong cá ngừ nhằm khuyến cáo nguy cơ ảnh hưởng đến sức khỏe của người tiêu dùng¹³.

Hàm lượng các nguyên tố vi lượng độc hại trong cá ngừ có thể khác nhau tùy theo vị trí đánh bắt, kích cỡ cá, mùa vụ đánh bắt. Đã có nhiều nghiên cứu liên quan đến vấn đề này được thực hiện ở các quốc gia khác nhau¹⁴⁻¹⁶. Hàm lượng của các nguyên tố độc hại thường được phân tích bằng các kỹ thuật phân tích nguyên tử như phân tích khối phổ kế (ICP-MS), phân tích kết hợp quang phổ phát xạ plasma với hệ thống cảm ứng (ICP-OES), quang phổ hấp thụ nguyên tử (FAAS)¹⁷⁻¹⁹. Một trong những hạn chế của các phương pháp này là việc chuẩn bị mẫu phân tích khá phức tạp, điều này có thể được khắc phục bằng kỹ thuật huỳnh quang tia X phản xạ toàn phần (TXRF). TXRF dựa trên việc ghi nhận các tia X đặc trưng phát ra từ các nguyên tố có trong mẫu. Một ưu điểm nữa của TXRF là có khả năng phân tích đồng thời đa nguyên tố với thời gian phân tích nhanh, độ nhạy của phương pháp có thể đạt đến mức hàm lượng ppb.

Mẫu cá ngừ được thu thập từ chợ Đầm ở thành phố Quy Nhơn, tỉnh Bình Định nhằm xác định hàm lượng của các nguyên tố có khả năng gây độc gồm As, Cd, Pb và Hg, từ đó đánh giá mức độ an toàn cũng như những rủi ro tiềm ẩn lên sức khỏe người tiêu dùng, nếu có, khi tiêu thụ thực phẩm này.

VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

Thu thập và chuẩn bị mẫu phân tích

04 con cá ngừ đại dương vây vàng (*Thunnus albacares*) (Hình 1) được đánh bắt từ vùng biển Đông Việt Nam, khối lượng trung bình 18 kg/con. Cá được mua từ chợ Đầm, thành phố Quy Nhơn, tỉnh Bình Định; ngày mua cá: 16/02/2024. Cách lấy mẫu tại chợ: sử dụng dao nhựa, không bị nhiễm kim loại, để cắt lấy 1,0 kg

thịt cá từ cơ lưng của mỗi con cá ngừ. Mẫu được cho vào túi nhựa có dán nhãn, đặt trong thùng kín, giữ ở nhiệt độ đông lạnh và vận chuyển trực tiếp về phòng thí nghiệm để tiến hành các bước tiếp theo nhằm phân tích hàm lượng các nguyên tố cần quan tâm.

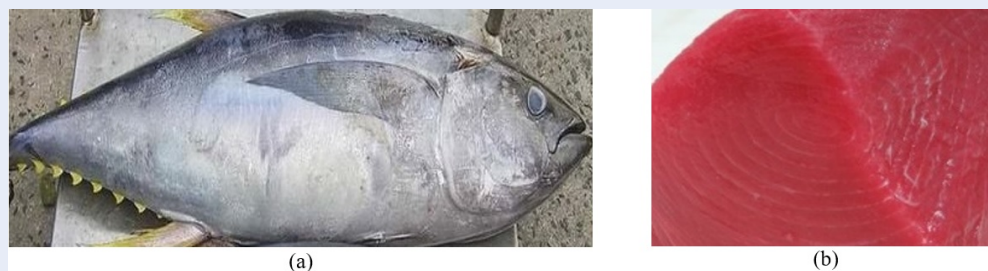
Tạo mẫu trong phân tích TXRF: Từ 1 kg thịt cá được lấy từ cơ lưng của mỗi con, đem rửa nhiều lần bằng nước cất để tránh nhiễm bẩn do vận chuyển từ chợ về phòng thí nghiệm. Tiếp theo, sử dụng dao nhựa cắt lấy phần giữa của khối cơ lưng này, chia nhỏ thành 30 mẫu với khối lượng mỗi mẫu 500 mg (tổng số mẫu phân tích của 4 con cá ngừ là 120 mẫu), sau đó đồng nhất mẫu. Cách đồng nhất mẫu cá ngừ bằng máy phá mẫu vi sóng MARS 6 như sau: cho mẫu cá ngừ (500 mg) cùng với 10 mg HNO₃ 65% (Merck), cho vào bình phá mẫu vi sóng, vận hành máy phá mẫu với thời gian tăng nhiệt trong bình phá mẫu từ nhiệt độ phòng đến nhiệt độ 200°C là 15 phút, thời gian ủ ở nhiệt độ này là 25 phút, sau đó làm nguội tự nhiên đến nhiệt độ phòng. Sau khi kết thúc quá trình phá mẫu, mẫu cá ngừ đã được đồng nhất hoàn toàn.

Để phân tích trên hệ TXRF, mẫu cá ngừ sau khi phá mẫu vi sóng cần thêm dung dịch chuẩn nội nhằm xác định hàm lượng của các nguyên tố cần quan tâm. Chuẩn nội Ga được thêm như sau: 0,15 chuẩn nội Ga hàm lượng 10 ppm trộn với 1,35 ml mẫu cá đã đồng nhất, được hỗn hợp 1,50 mL dung dịch mẫu có hàm lượng Ga 1 ppm. Hỗn hợp này tiếp tục được đồng nhất bằng máy lắc tròn – Ms 3 Basic - 00036170A0 - IKA trong thời gian 5 phút. Sau đó, sử dụng pipet lấy 10 μ L hỗn hợp này nhỏ lên đĩa thạch anh, sấy khô ở nhiệt độ 30°C trong thời gian 25 phút, lúc này mẫu đã khô và tiến hành đo phổ TXRF.

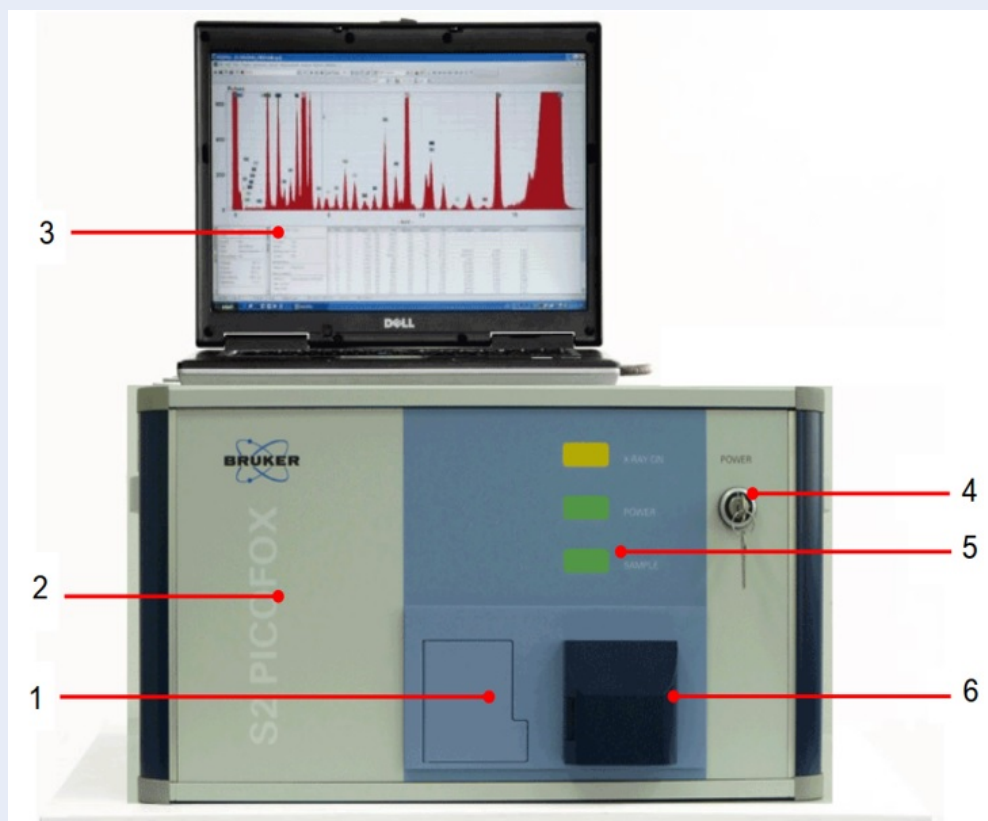
Hệ phổ kế huỳnh quang tia X phản xạ toàn phần (TXRF)

Hàm lượng nguyên tố độc hại trong các mẫu cá được đo bằng kỹ thuật TXRF tại phòng thí nghiệm của Khoa Vật lý và Kỹ thuật Hạt nhân, Trường Đại học Đà Lạt. Hình 2 là hệ TXRF S2 PICOFOXTM sử dụng trong phân tích.

Hệ phổ kế TXRF loại S2 PICOFOXTM do Brucker (Đức) sản xuất, loại đặt mẫu tự động, là hệ thống phân tích bán tự động, phân tích định tính và định lượng đồng thời nhiều nguyên tố, ngưỡng phát hiện đến ppb ($\mu\text{g.kg}^{-1}$), phân tích nguyên tố trên dải rộng từ Al đến U. Các bộ phận chính của hệ gồm: ống phát tia X sử dụng bia molipden với năng lượng phát khoảng 17,5 keV ($K\alpha_1 = 17,479 \text{ keV}$, $K\alpha_2 = 17,374 \text{ keV}$), làm việc ở điều kiện điện áp 50 kV, dòng điện 1000 μA ; bộ lọc đơn năng là tinh thể đa lớp làm bằng



Hình 1: Cá ngừ vây vàng và thịt của nó sử dụng trong phân tích. (a): Cá ngừ nguyên con; (b): Mẫu thịt cá ngừ lấy từ cơ lưng.



Hình 2: Hệ phổ kế huỳnh quang tia X phản xạ toàn phần TXRF PICOFOX S2TM. 1: Điều chỉnh giao diện; 2: Hệ phổ kế; 3: Phần mềm điều khiển; 4: Khóa khởi động nguồn; 5: Đèn hiển thị; 6: Cổng đặt mẫu.

kim loại đồng; detector thu nhận tia X là detector bán dẫn silic loại uốn cong tinh thể (SDD). Trong thực nghiệm, mỗi mẫu được đo trong thời gian 10 phút, phổ TXRF sau khi ghi nhận được xử lý bằng phần mềm chuyên dụng S2 PICOFOX²⁰.

Tính hàm lượng nguyên tố và giới hạn phát hiện trong phép phân tích TXRF

Mối quan hệ giữa cường độ tia X đặc trưng và hàm lượng nguyên tố được tính bởi phương trình (1)²⁰:

$$I_i = S_i \times C_i \times A_i \quad (1)$$

I_i : cường độ huỳnh quang tia X của nguyên tố i ; C_i : hàm lượng nguyên tố i trong mẫu phân tích; S_i : độ nhạy của hệ đo đối với nguyên tố i ; A_i : hệ số hiệu chỉnh sự suy giảm của bức xạ kích thích và tia X huỳnh quang bên trong mẫu.

Ở phương pháp TXRF, để tính hàm lượng các nguyên tố trong mẫu thì thường thêm vào mẫu đã đồng nhất một lượng nguyên tố không có trong thành phần của

mẫu, nguyên tố này có năng lượng phát tia X đặc trưng nhỏ hơn năng lượng phát tia X của vật liệu làm anode của hệ phổ kế, gọi là nguyên tố chuẩn nội. Hàm lượng của các nguyên tố trong mẫu được tính thông qua hàm lượng nguyên tố chuẩn nội theo công thức (2)²⁰:

$$C_i = \frac{C_{IS}.N_i.S_{IS}}{N_{IS}.S_i} \quad (2)$$

C_{IS} : hàm lượng nguyên tố chuẩn nội; N_i : số đếm tại đỉnh của nguyên tố cần quan tâm; N_{IS} : số đếm tại đỉnh của nguyên tố chuẩn nội; S_{IS} , S_i lần lượt là độ nhạy tương đối của nguyên tố chuẩn nội và nguyên tố cần phân tích.

Giới hạn phát hiện được xác định dựa trên số đếm thống kê tại đỉnh và số đếm phòng theo công thức (3)²⁰:

$$LLD_i = \frac{3.C_i.\sqrt{N_{BG}}}{N_i} \quad (3)$$

LLD_i : giới hạn phát hiện của nguyên tố i ; C_i : hàm lượng của nguyên tố i ; N_i : số đếm tại đỉnh của nguyên tố i ; N_{BG} : số đếm tại phòng dưới đỉnh.

Phương pháp thống kê

Thống kê I^2 được sử dụng để đánh giá tính không đồng nhất²¹ của kết quả. Trong nghiên cứu này, tính không đồng nhất được xem xét với giá trị $I^2 > 50\%$, sai số chuẩn được tính bằng độ lệch chuẩn²². Phân tích thống kê được thực hiện bằng phần mềm STATA phiên bản 12.0. Để đánh giá mối liên quan giữa hàm lượng kim loại thì phân tích hồi quy tổng hợp đã được sử dụng²¹. Vì khu vực phân bố và đánh bắt cá ngừ là vùng biển tỉnh Bình Định, nên vùng khảo sát không được xem là một nhóm nhỏ trong phân tích tổng hợp, do đó kết quả được coi là có ý nghĩa khi giá trị $p < 0,05$ (tức là $\alpha = 0,05$).

Ước tính nguy cơ không gây ung thư từ hàm lượng các nguyên tố độc hại

Khả năng không gây ung thư ở người tiêu dùng khi sử dụng cá ngừ được ước tính theo chỉ số nguy hại (Target Hazard Quotient, THQ)²³ như sau:

$$THQ = \frac{E_F E_D F_{IR} C}{R_{FD} B W T_a} \times 10^{-3} \quad (4)$$

E_F : là tần suất phơi nhiễm (365 ngày trong năm); E_D : thời gian phơi nhiễm tương đương với tuổi thọ trung bình của con người (ở Việt Nam, theo thống kê năm 2023, tuổi thọ trung bình là 73,7 năm); F_{IR} : mức tiêu thụ bình quân đầu người (gam/ngày); C : hàm lượng kim loại (mg.kg^{-1} thể trọng/ngày); R_{FD} : hàm lượng cho phép qua đường ăn uống (mg.kg^{-1} thể trọng/ngày).

Các hàm lượng cho phép qua đường ăn uống đối với As, Cd, Hg, Pb lần lượt là 3×10^{-4} , 10^{-3} , 3×10^{-4} , 4×10^{-4} mg.kg^{-1} thể trọng/ngày²⁴. BW là trọng lượng trung bình của người; $T_a = E_F \times E_D$ là thời gian tiếp xúc với chất gây ung thư (giả định là thời gian suốt đời, tức là $73,7 \times 365$ ngày). Giả định khối lượng trung bình của người Việt Nam ở trẻ em và người trưởng thành lần lượt là 12 kg và 65 kg.

Ước tính mức tiêu thụ cá ngừ đóng hộp

Vì không có số liệu thống kê mức độ sử dụng cá ngừ trực tiếp qua đánh bắt, nên nghiên cứu này dùng số liệu thống kê lượng bình quân tiêu thụ cá ngừ đã đóng hộp. Theo thống kê năm 2018, trong tổng số 156 triệu tấn cá được con người sử dụng, tương đương với nguồn sử dụng hàng năm ước tính là 20,5 kg cá bình quân đầu người. Trong đó, lượng cá ngừ đánh bắt được khoảng 85% tổng lượng cá, như vậy trung bình khoảng 17,5 kg cá ngừ mỗi người sử dụng hàng năm, tức khoảng 48 gam/ngày²⁵. Vì vậy, ta có thể dùng giá trị $F_{IR} = 48$ gam/ngày để tính toán các ảnh hưởng nếu có của các kim loại độc hại khi sử dụng cá ngừ.

Tổng số nguy hại lên cơ thể (TTHQ)

TTHQ là tổng số nguy hại lên cơ thể của các kim loại²⁶, được tính dưới dạng tổng nguy hại đến sức khỏe của tất cả các kim loại được xem xét trong nghiên cứu:

$$TTHQ = THQ_{As} + THQ_{Pb} + THQ_{Hg} + THQ_{Cd} \quad (5)$$

Dự đoán nguy cơ gây ung thư

Nguy cơ gây ung thư được dự đoán bằng cách sử dụng chỉ số lượng kim loại ước tính hấp thụ hàng ngày (EDI). EDI của As, Pb, Hg, Cd khi ăn cá ngừ được ước tính theo công thức (6)²⁷:

$$EDI = \frac{F_{IR} C}{B W} \quad (6)$$

EDI: lượng kim loại ước tính hấp thụ hàng ngày (mg.kg^{-1} thể trọng/ngày); F_{IR} : mức tiêu thụ bình quân đầu người (gam/người/ngày); C : hàm lượng kim loại tính bằng mg.kg^{-1} mô tươi.

Nguy cơ gây ung thư của As trong cá ngừ được tính bằng cách sử dụng giá trị nguy cơ ung thư tích lũy suốt đời (ILCR) theo công thức (7)²⁸:

$$ILCR = EDI \times SF \quad (7)$$

SF: hệ số độ dốc (mg.kg^{-1} thể trọng/ngày)⁻¹ được định nghĩa là rủi ro gây ra bởi liều trung bình trọn đời²⁹. SF của As là 1,5 (mg.kg^{-1} thể trọng/ngày)⁻¹³⁰.

KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Đánh giá điều kiện hoạt động của hệ phân tích TXRF

Để kiểm tra, đánh giá khả năng phân tích của hệ phổ kế TXRF thì việc xác định giới hạn phát hiện (LLD) và giới hạn định lượng (LOQ) là cần thiết. Theo khuyến cáo của nhà sản xuất hệ TXRF, mẫu K-raff (mẫu chuẩn gồm 10 nguyên tố với hàm lượng chuẩn do nhà sản xuất cung cấp) cần được kiểm tra trước khi tiến hành xác định hàm lượng các nguyên tố trong mẫu phân tích. Tiến hành đo mẫu K-raff trong thời gian 10 phút, lặp lại 3 lần đo, giới hạn phát hiện được tính từ công thức (3). Kết quả đo được trình bày ở Bảng 1.

Kết quả Bảng 1 cho thấy tất cả 10 nguyên tố trong mẫu chuẩn K-raff đều được phát hiện với sai số lớn nhất là 9,7 % (nguyên tố Mn). Kết quả này đáp ứng với yêu cầu kiểm tra khả năng phân tích theo tiêu chuẩn của nhà sản xuất thiết bị¹⁷.

Hàm lượng các nguyên tố trong mẫu cá ngừ

Tiến hành đặt 25 đĩa mang mẫu vào khe đặt mẫu để thực hiện việc đo và thu nhận phổ TXRF, thời gian đo từng mẫu là 10 phút. Bảng 2 trình bày kết quả phân tích hàm lượng của 4 nguyên tố độc hại là As, Hg, Cd, Pb trên cơ lưng của cá ngừ vây vàng thu mua tại chợ Đầm, thành phố Quy Nhơn, tỉnh Bình Định.

Arsenic (As)

Hàm lượng As của tất cả các mẫu phân tích đều cao hơn ngưỡng phát hiện. Hàm lượng trung bình của As trong các mẫu khảo sát là $0,93 \pm 0,02 \text{ mg.kg}^{-1}$ mô tươi. Kết quả phân tích As khá tương đồng với kết quả phân tích trên hai loài cá ngừ *Thunnus obesus* và *Thunnus thynnus* thu thập từ các nhà hàng Nhật Bản ở Hàn Quốc, với hàm lượng As phân tích được là $0,98 \pm 0,47 \text{ mg.kg}^{-1}$ mô tươi¹⁵. Theo các nghiên cứu trước đây trên các mẫu cá, hầu hết As (khoảng 95%) được tìm thấy trong mẫu phân tích là hợp chất hữu cơ, thí dụ các hợp chất arsenobetain, arsenocholine và arsenosuga. Ở dạng hợp chất hữu cơ, As ít độc và nhanh chóng bị đào thải khỏi cơ thể con người, nên ít quan trọng khi đánh giá an toàn thực phẩm³¹. Vì thế, giới hạn tối đa của As hữu cơ đối với các loài cá không được quy định. Tuy nhiên, lượng còn lại (khoảng 5%) là những dẫn xuất vô cơ có thể gây độc hại với người tiêu dùng. Dựa trên kết quả phân tích được, hàm lượng As dạng vô cơ là $0,05 - 0,10 \text{ mg.kg}^{-1}$, giá trị trung bình của As vô cơ là $0,05 \pm 0,02 \text{ mg.kg}^{-1}$ mô tươi của cá ngừ (Bảng 2). Theo một số nghiên cứu khác, ở một số vùng đánh bắt khác nhau thì hàm

lượng As vô cơ trong mô tươi của cá ngừ vây vàng tương đối cao, thí dụ, giá trị As dạng vô cơ là $1,30 \pm 0,34 \text{ mg.kg}^{-1}$ mô tươi của cá ngừ ở Aracaju, Sergipe, đông bắc Brazil³²; $3,78 \pm 2,24 \text{ mg.kg}^{-1}$ ở Tây Bắc Tây Ban Nha¹⁶; $3,47 \pm 0,21 \text{ mg.kg}^{-1}$ ở cảng cá Jakarta, Indonesia³³; $2,24 \pm 0,66 \text{ mg.kg}^{-1}$ ở khu vực phía đông Thái Bình Dương xung quanh Mexico¹⁴. Theo giá trị cho phép, lượng As tối đa trong chế độ ăn uống hàng ngày không vượt quá $0,3 \text{ } \mu\text{g.kg}^{-1}$ thể trọng/ngày³⁴. Kết quả tính toán EDI theo Công thức (6) cho thấy lượng As vô cơ trong các mẫu cá khảo sát thấp hơn nhiều so với giá trị cho phép ở tất cả các mẫu mô cá ngừ (ở người lớn: $0,037 \text{ } \mu\text{g.kg}^{-1}$ thể trọng/ngày, trẻ em: $0,133 \text{ } \mu\text{g.kg}^{-1}$ thể trọng/ngày).

Cadmium (Cd)

Kết quả phân tích Cd được trình bày ở Bảng 2. Có khoảng 40% các mẫu phân tích có hàm lượng Cd trên ngưỡng phát hiện, tất cả các mẫu này đều có hàm lượng dưới mức tối đa cho phép ($1 \text{ } \mu\text{g.kg}^{-1}$) theo tiêu chuẩn của Liên minh Châu Âu đối với cá ngừ³⁵. Ở các khu vực đánh bắt khác nhau và trong các sản phẩm thủy sản khác, hàm lượng Cd được phát hiện có kết quả gần giống với nghiên cứu này. Thí dụ, mức Cd là $0,01 \pm 0,01 \text{ mg.kg}^{-1}$ và $0,02 \pm 0,02 \text{ mg.kg}^{-1}$ mô tươi trong thịt và mô vùng bụng của cá ngừ vây vàng thu mua tại chợ cá ở Sri Lanka (Indonesia)³⁶ và ở Galicia (Tây Ban Nha)³²; hàm lượng trung bình của Cd là $0,03 \pm 0,03 \text{ mg.kg}^{-1}$ trong các loại cá ngừ vằn (*Katsuwonus pelamis*), cá ngừ vây vàng, cá ngừ mắt to (*Thunnus obesus*) ở Ecuador³⁷. Tuy nhiên, hàm lượng trung bình của Cd khá cao ($0,25 \pm 0,21$ và $0,23 \pm 0,20 \text{ mg.kg}^{-1}$ mô tươi) trong thịt cá ngừ vây vàng ở bờ biển phía tây Ấn Độ Dương, eo biển Mozambique và vùng biển xung quanh đảo Reunion; hơn nữa các mẫu cá khảo sát đều cho thấy lượng Cd tăng lên rất nhiều lần trong gan cá (138 ± 60 và $126 \pm 130 \text{ mg.kg}^{-1}$ mô tươi)³⁸.

Thủy ngân (Hg)

Kết quả phân tích cho thấy hàm lượng Hg trong hầu hết các mẫu (93%) đều thấp hơn LLD ($0,22 \text{ mg.kg}^{-1}$), do đó không thể thực hiện được phân tích thống kê. Lượng thủy ngân được phát hiện thấp hơn giới hạn theo tiêu chuẩn cho phép ở Bảng 2 ($1,0 \text{ mg.kg}^{-1}$) trong tất cả các mẫu cá khảo sát. Ở một số nghiên cứu trước đây trên thế giới, lượng thủy ngân phân tích được dưới mức cho phép theo tiêu chuẩn. Trong nghiên cứu năm 2013, hàm lượng Hg trong thịt cá ngừ vây vàng là $0,30 \pm 0,14 \text{ mg.kg}^{-1}$ mô tươi tại các khu vực Galle, Mutwal, Negombo và Trincomalee ở Sri Lanka³⁶. Hàm lượng này cũng gần như

Bảng 1: Kết quả phân tích định lượng (mg.kg^{-1}) của mẫu K-raff bằng hệ TXRF S2 PICOFOX™

Stt	Nguyên tố	Hàm lượng chuẩn (ppm)	Hàm lượng phân tích (ppm)	Giới hạn phát hiện (ppm)	Sai số (%)
1	Ti	1,000	1,000	0,030	0,0
2	V	1,000	0,965	0,030	3,5
3	Cr	1,000	0,966	0,030	3,4
4	Mn	1,000	0,903	0,020	9,7
5	Fe	1,000	0,966	0,020	3,4
6	Co	1,000	0,941	0,020	5,9
7	Ni	1,000	0,945	0,020	5,5
8	Cu	1,000	0,925	0,010	7,5
9	Zn	1,000	0,927	0,010	7,3
10	Rb	1,000	0,907	0,010	9,3

Bảng 2: Hàm lượng của một số nguyên tố độc hại (mg.kg^{-1} mô tươi) trong mô cá ngừ vây vàng (*Thunnus albacares*)

Hàm lượng	As		Cd	Hg	Pb
	Tổng	As vô cơ (5% của tổng hàm lượng)			
Giá trị trung bình ± sai số	0,93±0,02	0,05±0,02	0,03±0,01	NA	0,08±0,02
Ngưỡng phát hiện (LLD)	0,12	–	0,02	0,22	0,06
Giá trị nhỏ nhất	0,61	–	0,03	0,34	0,06
Giá trị lớn nhất	1,93	–	0,10	0,83	0,16
Giới hạn cho phép	–	–	0,10	1,00	0,30

NA: không xác định được (vì 93% mẫu phân tích đều thấp hơn LLD).

không đổi khi khảo sát lặp lại ở những vùng này năm 2023³⁶. Nhìn chung, hàm lượng Hg trong thịt cá ngừ tương đối thấp, dưới ngưỡng cho phép sử dụng, thí dụ hàm lượng thủy ngân trong thịt cá ngừ vây vàng đánh bắt tại cảng cá Jakarta ở Indonesia là $0,68 \pm 0,08 \text{ mg.kg}^{-1}$ ¹⁶, $0,60 \pm 0,15 \text{ mg.kg}^{-1}$ trong thịt cá ngừ ở Aracaju, Sergipe, đông bắc Brazil³¹, $0,55 \pm 0,43 \text{ mg.kg}^{-1}$ trong thịt cá ngừ vây vàng và $0,40 \pm 0,31 \text{ mg.kg}^{-1}$ của cá ngừ vây đánh bắt ở Foggia, Ý³⁹. Vì hầu hết các mẫu cá ngừ có hàm lượng Hg phân tích thấp hơn LLD, nên giá trị EDI được tính đối với Hg bằng cách sử dụng một nửa giá trị LLD. Kết quả cho thấy trong hầu hết các mẫu cá ngừ (93%) có giá trị EDI thấp hơn giá trị cho phép qua đường ăn uống ($0,3 \text{ } \mu\text{g.kg}^{-1}$ thể trọng/ngày). Thí dụ, EDI ở người lớn và trẻ em lần lượt là 0,081 và $0,293 \text{ } \mu\text{g.kg}^{-1}$ thể trọng/ngày, chỉ có 2 mẫu cá khảo sát có giá trị EDI cho người lớn và trẻ em là 0,523 và $0,877 \text{ } \mu\text{g.kg}^{-1}$ thể trọng/ngày. Nhưng kết quả phân tích ở 120 mẫu cá ngừ cho thấy, hàm lượng của Hg đều dưới mức cho

phép tối đa ($1,0 \text{ mg.kg}^{-1}$), do đó về cơ bản chúng không gây ra tác động có hại cho người tiêu dùng⁴⁰.

Chì (Pb)

Trong số các mẫu cá khảo sát, có 22% số lượng mẫu có hàm lượng Pb thấp hơn ngưỡng phát hiện ($0,06 \text{ mg.kg}^{-1}$), giá trị hàm lượng Pb phân tích được từ 0,06 đến $0,16 \text{ mg.kg}^{-1}$. Kết quả khảo sát cũng cho thấy không có mẫu nào có hàm lượng Pb vượt quá giá trị giới hạn cho phép đối với các loài cá ngừ là $0,3 \text{ mg.kg}^{-1}$ (Bảng 2). Ở các nghiên cứu trước đây có kết quả tương đồng về hàm lượng Pb trong mô cá ngừ, thí dụ trong thịt cá ngừ vây vàng là $0,09 \pm 0,12 \text{ mg.kg}^{-1}$ mô tươi tại các khu vực Galle, Mutwal, Negombo và Trincomalee ở Sri Lanka, và Aracaju, Sergipe ở đông bắc Brazil³²; hàm lượng Pb tương tự cũng được phát hiện trong mô vùng bụng của cá ngừ vây vàng được thu thập từ chợ cá ở Sri Lanka ($0,06 \pm 0,06 \text{ mg.kg}^{-1}$)³⁶, $0,07 \pm 0,06 \text{ mg.kg}^{-1}$ trong thịt cá ngừ vây vàng được thu thập tại Đồng Thái Bình

Dương, thành phố Manta của Ecuador⁴¹. Giá trị EDI của Pb cho phép với người lớn là $0,16 \mu\text{g.kg}^{-1}$ thể trọng/ngày và đối với trẻ em là $0,26 \mu\text{g.kg}^{-1}$ thể trọng/ngày⁴². So với kết quả phân tích trong nghiên cứu này thì EDI của Pb dưới ngưỡng cho phép (người lớn và trẻ em lần lượt là 0,059 và $0,21 \mu\text{g.kg}^{-1}$ thể trọng/ngày), như vậy rất an toàn cho người sử dụng.

Đánh giá rủi ro sức khỏe khi ăn cá ngừ

Ước tính nguy cơ không gây ung thư

Để đánh giá rủi ro không gây ung thư và gây ung thư khi sử dụng cá, giá trị THQ thường được sử dụng^{26,27,43}. Khi xét đến giá trị THQ của kim loại bất kỳ < 1 thì tác dụng phụ khó có thể xảy ra, nhưng nếu $\text{THQ} \geq 1$ thì tác dụng phụ có thể xảy ra. Ngoài ra, khi $\text{TTHQ} \geq 10$, nguy cơ gây hại đến sức khỏe cao đối với nhóm người bị phơi nhiễm⁴⁴. Thời gian sống trung bình của người Việt Nam là 73,7 năm, sử dụng cá ngừ toàn thời gian của một năm (365 ngày), giả định toàn bộ thời gian sinh sống đều sử dụng cá ngừ, thì kết quả tính toán THQ từ nghiên cứu này ở người lớn trên các kim loại As, Cd và Pb lần lượt là 0,12, 0,02 và 0,15; đối với trẻ em là 0,67, 0,12 và 0,80. Thứ tự sắp xếp giảm dần của đóng góp các kim loại dựa trên THQ ở cả nhóm tuổi người lớn và trẻ em là $\text{Pb} > \text{As} > \text{Cd}$. Kết quả này tương tự ở một số nghiên cứu trước đây về đánh giá nguy cơ không gây ung thư do ăn uống, sự đóng góp vào tổng số nguy hại lên cơ thể của các kim loại (TTHQ) đối với Pb và As luôn cao hơn so với các kim loại khác mặc dù hàm lượng của chúng có thể thấp hơn.

Ước tính nguy cơ không gây ung thư

As được Cơ quan quốc tế phân loại là kim loại gây ung thư (IARC)⁴⁵. ILRC của As ở người lớn và trẻ em lần lượt là $3,21 \times 10^{-5}$ và $4,18 \times 10^{-5}$. Giá trị ILRC thấp hơn $1,00 \times 10^{-6}$ cho thấy người tiêu dùng đang ở trong giới hạn an toàn, nhưng nếu giá trị này cao hơn $1,00 \times 10^{-4}$ thì người tiêu dùng có thể gặp rủi ro. Giá trị ILRC cao hơn $1,00 \times 10^{-3}$ cho thấy người tiêu dùng có nguy cơ mắc bệnh ung thư nhiều⁴⁶. Từ kết quả trong nghiên cứu này, người lớn và trẻ em ở Việt Nam nếu sử dụng liên tục cá ngừ hằng ngày thì ILRC của người lớn và trẻ em có thể là $5,54 \times 10^{-5}$ và $2,00 \times 10^{-4}$. Như vậy, với người lớn thì chỉ số này vẫn còn ở trong vùng an toàn, nhưng với trẻ em thì có nguy cơ về sức khỏe⁴⁷. Vì vậy cần kiểm soát lượng cá ngừ đối với đối tượng sử dụng là trẻ em nếu dùng kéo dài và với liều dùng cao.

KẾT LUẬN

Bài báo trình bày việc sử dụng kỹ thuật huỳnh quang tia X phân xạ toàn phần (TXRF) để phân tích hàm

lượng của bốn nguyên tố độc hại gồm As, Cd, Hg và Pb trong mô cá ngừ vây vàng thu mua tại chợ Đầm, thuộc thành phố Quy Nhơn, tỉnh Bình Định. Kết quả phân tích cho thấy hàm lượng các nguyên tố trên đều thấp hơn ngưỡng cho phép theo Tiêu chuẩn An toàn thực phẩm Châu Âu. Khi so sánh hàm lượng bốn kim loại trên với hàm lượng phân tích được ở một số nghiên cứu tương đồng trên thế giới cho thấy, hàm lượng các kim loại trong khảo sát này gần bằng với một số liệu khảo sát ở Hàn Quốc, Indonesia, nhưng thấp hơn một số vùng như Ấn Độ, Tây Ban Nha, Brazil, Đông Thái Bình Dương. Kết quả khảo sát hàm lượng các nguyên tố As, Cd, Hg và Pb đã giúp đánh giá các chỉ số như lượng kim loại ước tính hấp thụ hàng ngày (EDI), nguy hại sức khỏe đối với từng kim loại (THQ), tổng số nguy hại lên cơ thể của các kim loại (TTHQ), nguy cơ ung thư tích lũy suốt đời (ILCR). Kết quả tính toán cho thấy các chỉ số này đều dưới ngưỡng cho phép theo Tiêu chuẩn An toàn thực phẩm Châu Âu. Như vậy, qua khảo sát hàm lượng bốn nguyên tố As, Cd, Hg và Pb có trong cá ngừ bán tại chợ Đầm, thành phố Quy Nhơn, tỉnh Bình Định cho thấy các giá trị ghi nhận được đều thấp hơn ngưỡng sử dụng cho phép, điều này góp phần xác định tính an toàn của các sản phẩm cá ngừ đánh bắt tại vùng biển Bình Định (Việt Nam).

LỜI CẢM ƠN

Nhóm tác giả chân thành cảm ơn Trường Đại học Đà Lạt đã cho phép thực hiện đề tài của nghiên cứu này.

XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

Các tác giả đồng ý không có bất kỳ xung đột lợi ích nào liên quan đến các kết quả đã công bố.

ĐÓNG GÓP CỦA CÁC TÁC GIẢ

Nguyễn Văn Hải thực hiện các thí nghiệm, thu thập, xử lý các dữ liệu và viết bản thảo. Nguyễn Thị Minh Sang, Nguyễn Quang Thi hỗ trợ thực nghiệm, xử lý các dữ liệu. Nguyễn An Sơn đóng vai trò định hướng, lên kế hoạch nghiên cứu, phân tích các kết quả nghiên cứu, hoàn chỉnh bản thảo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Pieniak Z, Verbeke W, Scholderer J. Health-related beliefs and consumer knowledge as determinants of fish consumption. *J Hum Nutr Diet*. 2010;23:480-8; Available from: <https://doi.org/10.1111/j.1365-277X.2010.01045.x>.
2. Kim J, Lim S-Y, Shin A, Sung M-K, Ro J, Kang H-S, et al. Fatty fish and fish omega-3 fatty acid intakes decrease the breast cancer risk: a case-control study. *BMC Cancer*. 2009;9:216. doi: 10.1186/1471-2407-9-216; Available from: <https://doi.org/10.1186/1471-2407-9-216>.
3. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Per capita consumption canned tuna fish in the world. 2015;

4. Fakhri Y, Saha N, Miri A, Baghaei M, Roomiani L, Ghaderpoori M, et al. Metal concentrations in fillet and gill of parrotfish (*Scarus ghobban*) from the Persian Gulf and implications for human health. *Food Chem Toxicol.* 2018;118:348-54; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.05.041>.
5. Domingo JL, Bocio A, Falcó G, Llobet JM. Benefits and risks of fish consumption: Part I. A quantitative analysis of the intake of omega-3 fatty acids and chemical contaminants. *Toxicology.* 2007;230:219-26; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.tox.2006.11.054>.
6. Pirsaeheb M, Khosravi T, Sharafi K, Babajani L, Rezaei M. Measurement of heavy metals concentration in drinking water from source to consumption site in Kermanshah, Iran. *World Appl Sci J.* 2013;21:416-23;.
7. Balali-Mood M, Naseri K, Taherghorabi Z, Khazdair MR, Sadeghi M. Toxic mechanisms of five heavy metals: Mercury, lead, chromium, cadmium, and arsenic. *Front Pharmacol.* 2021;12:643972; Available from: <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.643972>.
8. Shahsavani A, Fakhri Y, Ferrante M, Keramati H, Zandsalimi Y, Bay A, et al. Risk assessment of heavy metals bioaccumulation: fished shrimps from the Persian Gulf. *Toxin Rev.* 2017;36:322-30; Available from: <https://doi.org/10.1080/15569543.2017.1312451>.
9. Godt J, Scheidig F, Grosse-Siestrup C, Esche V, Brandenburg P, Reich A, et al. The toxicity of cadmium and resulting hazards for human health. *J Occup Med Toxicol.* 2006;1:22-9; Available from: <https://doi.org/10.1186/1745-6673-1-22>.
10. Zahir F, Rizwi SJ, Haq SK, Khan RH. Low dose mercury toxicity and human health. *Environ Toxicol Pharmacol.* 2005;20:351-60; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.etap.2005.03.007>.
11. Goyer RA. Lead toxicity: from overt to subclinical to subtle health effects. *Environ Health Perspect.* 1990;86:177-82; Available from: <https://doi.org/10.1289/ehp.9086177>.
12. Fraga CG. Relevance, essentiality and toxicity of trace elements in human health. *Mol Aspects Med.* 2005;26:235-44; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.mam.2005.07.013>.
13. Jaishankar M, Tseten T, Anbalagan N, Mathew BB, Beeregowda KN. Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdiscip Toxicol.* 2014;7:60-72; Available from: <https://doi.org/10.2478/intox-2014-0009>.
14. Ruelas-Inzunza J, Slejkovec Z, Mazej D, Fajon V, Horvat M, Ramos-Osuna M. Bioaccumulation of As, Hg, and Se in tunas *Thunnus albacares* and *Katsuwonus pelamis* from the Eastern Pacific: Tissue distribution and As speciation. *Environ Sci Pollut Res.* 2018;25:19499-509; Available from: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2166-0>.
15. Bae SJ, Shin KS, Park C, Baek K, Son SY, Sakong J. Risk assessment of heavy metals in tuna from Japanese restaurants in the Republic of Korea. *Ann Occup Environ Med.* 2023; Available from: <https://doi.org/10.1035371/aoem.2023.35.e3>.
16. Núñez R, García MÁ, Alonso J, Melgar MJ. Arsenic, cadmium and lead in fresh and processed tuna marketed in Galicia (NW Spain): Risk assessment of dietary exposure. *Sci Total Environ.* 2018;627:322-31;.
17. World Health Organization (WHO). Guidelines for Drinking-water Quality: Recommendations. 2004;.
18. Ikem A, Egeibor NO. Assessment of trace elements in canned fishes (mackerel, tuna, salmon, sardines and herrings) marketed in Georgia and Alabama (United States of America). *J Food Compos Anal.* 2005;18:771-87; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2004.11.002>.
19. Ganjavi M, Ezzatpanah H, Givianrad MH, Shams A. Effect of canned tuna fish processing steps on lead and cadmium contents of Iranian tuna fish. *Food Chem.* 2010;118:525-8; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.05.018>.
20. Bruker. S2 PICOFOX™ TXRF Spectrometer for element analysis. Bruker Nano GmbH. 2007;.
21. Higgins J, Thompson SG. Quantifying heterogeneity in a meta-analysis. *Stat Med.* 2002;21:1539-58; Available from: <https://doi.org/10.1002/sim.1186>.
22. Nair U. The standard error of Gini's mean difference. *Biometrika.* 1936;28:428-36; Available from: <https://doi.org/10.1093/biomet/28.3-4.428>.
23. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Risk Assessment Guidance for Superfund, vol. I Human Health Evaluation Manual (Part A). Washington, D.C.; 2004;.
24. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). IRIS advanced search. Washington, D.C.; 2018; Available from: <https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/search/index.cfm>.
25. Tuna world's 2nd most consumed fish. Atuna. <https://atuna.com/pages/tuna-world-s-2nd-most-consumed-fish-2>. Updated March 23, 2024;.
26. Ghasemidehkordi B, Malekiran AA, Nazem H, Fazilati M, Salavati H, Shariatfar N, et al. Concentration of lead and mercury in collected vegetables and herbs from Markazi province, Iran: a non-carcinogenic risk assessment. *Food Chem Toxicol.* 2018;113:204-10; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.01.048>.
27. Fathabad AE, Shariatfar N, Moazzen M, Nazmara S, Fakhri Y, Alimohammadi M, et al. Determination of heavy metal content of processed fruit products from Tehran's market using ICP-OES: a risk assessment study. *Food Chem Toxicol.* 2018;114:12-9; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.03.044>.
28. Cao S, Duan X, Zhao X, Ma J, Dong T, Huang N, et al. Health risks from the exposure of children to As, Se, Pb and other heavy metals near the largest coking plant in China. *Sci Total Environ.* 2014;472:1001-9; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.11.124>.
29. Bamuwaye M, Ogwok P, Tumuhairwe V. Cancer and non-cancer risks associated with heavy metal exposures from street foods: Evaluation of roasted meats in an urban setting. *J Environ Pollut Hum Health.* 2015;3:24-30;.
30. Office of Environmental Health Hazard Assessment (OEHA). Air toxics hot spots program technical support document for cancer potencies. Appendix B. Update 2011;.
31. Abernathy CO, Liu YP, Longfellow D, Aposhian HV, Beck B, Fowler B, et al. Arsenic: Health effects, mechanisms of actions, and research issues. *Environ Health Perspect.* 1999;107:593-7; Available from: <https://doi.org/10.1289/ehp.99107593>.
32. Da Silva CA, de Oliveira Santos S, Garcia CAB, de Pontes GC, Wasserman JC. Metals and arsenic in marine fish commercialized in NE Brazil: Risk to human health. *Hum Ecol Risk Assess.* 2020;26:695-712; Available from: <https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1529552>.
33. Koesmawati TA, Arifin Z. Mercury and arsenic content in seafood samples from Jakarta Fishing Port, Indonesia. *Mark Res Indones.* 2015;40:9-16; Available from: <https://doi.org/10.14203/mri.v40i1.76>.
34. Wong C. Scientific opinion on arsenic in food. *Eur Food Saf Auth.* 2009; Available from: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2009.1351>.
35. European Union. Commission Regulation (EU) No 1881/2006. Off J Eur Union. 2023;119:103-57;.
36. Lehel J, Papp Z, Bartha A, Palotás P, Szabó R, Budai P, et al. Metal load of potentially toxic elements in tuna (*Thunnus albacares*) - Food safety aspects. *Foods.* 2023; Available from: <https://doi.org/10.3390/foods12163038>.
37. Ormaza-González FI, Ponce-Villao GE, Pin-Hidalgo GM. Low mercury, cadmium and lead concentrations in tuna products from the eastern Pacific. *Heliyon.* 2020;6; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04576>.
38. Kojadinovic J, Potier M, Le Corre M, Cosson RP, Bustamante P. Bioaccumulation of trace elements in pelagic fish from the Western Indian Ocean. *Environ Pollut.* 2007;146:548-66; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.07.015>.
39. Orata F. Derivatization reactions and reagents for gas chromatography analysis. *Open Chromatogr J.* 2012;6:1-7; Available from: <https://doi.org/10.5772/33098>.
40. Jacobs MN, Covaci A, Gheorghe A, Schepens P. Time trend in-

- vestigation of PCBs, PBDEs, and organochlorine pesticides in selected fish species from the Belgian North Sea. *Mar Pollut Bull.* 2004;49:281-7;.
41. Mieirol CL, Coelho JP, Pacheco M, Duarte AC, Pereira ME. Mercury accumulation patterns and export pathways in European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) from a contaminated coastal lagoon. *Estuar Coast Shelf Sci.* 2011;92:10-9;.
42. Alves LM, Maulvault AL, Barbosa V, Marques A, Anacleto P. Transfer of potentially toxic elements in octopus species. *Environ Pollut.* 2020;266:115212;.
43. OEHHA. Air toxics hot spots program technical support document for cancer potencies. Appendix B. Chemical-specific summaries of the information used to derive unit risk and cancer potency values. Update 2011;.
44. Lei M, Tie BQ, Song ZG, Liao BH, Lepo JE, Huang YZ. Heavy metal pollution and potential health risk assessment of white rice around mine areas in Hunan Province, China. *Food Secur.* 2015;7:45–54;Available from: <https://doi.org/10.1007/s12571-014-0414-9>.
45. IARC. International Agency for Research on Cancer. Handbooks of Cancer Prevention. Lyon: The Agency; 2002;.
46. EPA. Regional screening levels (RSLs) - generic tables (June 2017). U.S. Environmental Protection Agency; 2017;.
47. Li PH, Kong SF, Geng CM, Han B, Lu B, Sun RF, et al. Assessing the hazardous risks of vehicle inspection workers' exposure to particulate heavy metals in their work places. *Aerosol Air Qual Res.* 2013;13:255–65;Available from: <https://doi.org/10.4209/aaqr.2012.04.0087>.

The concentrations of toxic elements in tuna (*Thunnus albacares*) caught in Quy Nhon sea, Binh Dinh province analyzed by total reflection X-ray fluorescence spectroscopy

Nguyen Van Hai¹, Nguyen Thi Minh Sang¹, Nguyen Quang Thi², Nguyen An Son^{2,*}

ABSTRACT

Tuna (*Thunnus albacares*) contains omega-3 fatty acids that help improve heart health and reduce cholesterol. Yellowfin tuna also has high protein content and low calories. However, some harmful elements, if present in large quantities in tuna meat, could affect consumers' health. According to the World Health Organization (WHO), four elements including arsenic (As), cadmium (Cd), mercury (Hg) and lead (Pb) are classified as toxic elements in category A. This paper presents the use of total reflection X-ray fluorescence spectroscopy (TXRF) to analyze the concentration of these elements in the fresh muscle tissue of tuna collected at Dam Market, Quy Nhon City, Binh Dinh Province. The results showed that the concentration of toxic elements in the fresh tuna muscle samples were: As (inorganic arsenic compounds): $0.05 \pm 0.02 \text{ mg.kg}^{-1}$, Cd: $0.03 \pm 0.01 \text{ mg.kg}^{-1}$, Pb: $0.08 \pm 0.02 \text{ mg.kg}^{-1}$. As stated by the European Food Safety Authority (EFSA), the estimated daily intake (EDI) allowances for the above elements were as follows: As (inorganic arsenic compounds), Cd, Pb, and Hg should not exceed 0.3, 1.0, 0.4 and 0.3 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ body weight/day, respectively. The calculated EDIs in this observation were: i/ As inorganic arsenic compounds for adults: $0.037 \mu\text{g.kg}^{-1}$ body weight/day, children: $0.133 \mu\text{g.kg}^{-1}$ body weight/day ii/ Cd: adults: $0.022 \mu\text{g.kg}^{-1}$ body weight/day, children: $0.080 \mu\text{g.kg}^{-1}$ body weight/day. iii/ Pb for adults: $0.059 \mu\text{g.kg}^{-1}$ body weight/day, children: $0.21 \mu\text{g.kg}^{-1}$ body weight/day. Similarly, for Hg, the average concentration in this observation was below the lower limit of detection and permissible value. The EDI was lower than the reference value in most studied tuna samples (93%), specifically for adults: $0.081 \mu\text{g.kg}^{-1}$ body weight/day, children: $0.293 \mu\text{g.kg}^{-1}$ body weight/day. There were 2 samples that exceeded the European food safety standards, with levels of $0.523 \mu\text{g.kg}^{-1}$ body weight/day and $0.877 \mu\text{g.kg}^{-1}$ body weight/day. Therefore, the analysis results of the concentration of four toxic elements in tuna samples purchased at Dam Market, Quy Nhon City, Binh Dinh province showed the safety for consumers and could meet the European food safety standards.

Key words: Tuna (*Thunnus albacares*), Dam market, toxic elements, European food safety standards

¹Dalat University, Dalat, Lam Dong, Vietnam

²Huynh Thuc Khang High School, Van Gia, Van Ninh, Khanh Hoa, Vietnam

Correspondence

Nguyen An Son, Huynh Thuc Khang High School, Van Gia, Van Ninh, Khanh Hoa, Vietnam

Email: sonna@dlu.edu.vn

History

- Received: 15-3-2024
- Revised: 10-5-2024
- Accepted: 12-9-2024
- Published Online: 30-9-2024

DOI : <https://doi.org/10.32508/stdjns.v8i1.1378>



Copyright

© VNUHCM Press. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



Cite this article : Hai N V, Sang N T M, Thi N Q, Son N A. The concentrations of toxic elements in tuna (*Thunnus albacares*) caught in Quy Nhon sea, Binh Dinh province analyzed by total reflection X-ray fluorescence spectroscopy. *Sci. Tech. Dev. J. - Nat. Sci.* 2024, 8(3):3089-3098.