

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,*}



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

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 $0,3 \mu\text{g.kg}^{-1}$ thể trọng/ngày. Chỉ số EDI xác định được bao gồm: i/ As dạng vô cơ đối với người lớn là $0,037 \mu\text{g.kg}^{-1}$ thể trọng/ngày, trẻ em là $0,133 \mu\text{g.kg}^{-1}$ thể trọng/ngày. ii/ Cd đối với người lớn là $0,022 \mu\text{g.kg}^{-1}$ thể trọng/ngày, trẻ em là $0,080 \mu\text{g.kg}^{-1}$ thể trọng/ngày. iii/ Pb đối với người lớn là $0,059 \mu\text{g.kg}^{-1}$ thể trọng/ngày, trẻ em là $0,21 \mu\text{g.kg}^{-1}$ 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 $0,081 \mu\text{g.kg}^{-1}$ thể trọng/ngày, trẻ em là $0,293 \mu\text{g.kg}^{-1}$ 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 $0,523 \mu\text{g.kg}^{-1}$ thể trọng/ngày và $0,877 \mu\text{g.kg}^{-1}$ 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:

DOI:



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.



1 GIỚI THIỆU

2 Hải sản là nguồn cung cấp protein, acid béo omega-
3, acid béo không bão hòa, vitamin, chất dinh dưỡng
4 vi lượng và đa lượng trong chế độ ăn uống của con
5 người, là nguồn tiêu thụ ngày càng tăng cao trên thế
6 giới¹. Nếu trong khẩu phần ăn hằng ngày, cá được
7 sử dụng nhiều có thể giúp làm giảm các bệnh mãn
8 tính và làm giảm bệnh ung thư vú². Cá ngừ là một
9 trong những loại cá được tiêu thụ rộng rãi nhất trên
10 thế giới, một phần do chất lượng và hương vị của nó.
11 Theo thống kê vào năm 2015, tiêu thụ cá ngừ đóng
12 hộp trên thế giới và Hoa Kỳ là rất cao, ước tính bình
13 quân đầu người từ 1,0–1,36 kg/năm³.
14 Nguồn kim loại chính trong mô cá nói chung và cá
15 ngừ nói riêng là từ ô nhiễm do môi trường biển⁴. Ô
16 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; (1):1-9.

34 cho dù hàm lượng nhỏ cũng có thể ảnh hưởng đến
 35 sức khỏe của người sử dụng.
 36 Mặc dù các kim loại vi lượng độc hại thường tồn
 37 tại với hàm lượng thấp trong môi trường đại dương,
 38 nhưng chúng đặc biệt nguy hiểm do đặc tính tích
 39 lũy sinh học và ngưng tụ sinh học trong chuỗi thức
 40 ăn⁸. Tiêu thụ thực phẩm có chứa kim loại độc có
 41 thể gây ra các mối nguy hiểm cho sức khỏe con người
 42 như rối loạn chức năng thận và ung thư trong trường
 43 hợp bị nhiễm Cd⁹; bệnh Alzheimer, trong trường
 44 hợp nhiễm Hg¹⁰; khiếm khuyết về nhận thức và thần
 45 kinh trong trường hợp nhiễm Pb¹¹; thay đổi sắc tố
 46 và chứng dày sừng trong trường hợp nhiễm arsenic
 47 (As)¹² v.v.. Vì thế, Cơ quan Bảo vệ Môi trường Hoa
 48 Kỳ (USEPA), Tổ chức Lương thực và Nông nghiệp
 49 (FAO) và WHO đã đưa ra các giới hạn tiêu chuẩn
 50 hàm lượng các nguyên tố trong cá ngừ nhằm khuyến
 51 cáo nguy cơ ảnh hưởng đến sức khỏe của người tiêu
 52 dùng¹³.
 53 Hàm lượng các nguyên tố vi lượng độc hại trong cá
 54 ngừ có thể khác nhau tùy theo vị trí đánh bắt, kích
 55 cỡ cá, mùa vụ đánh bắt. Đã có nhiều nghiên cứu liên
 56 quan đến vấn đề này được thực hiện ở các quốc gia
 57 khác nhau¹⁴⁻¹⁶. Hàm lượng của các nguyên tố độc
 58 hại thường được phân tích bằng các kỹ thuật phân
 59 tích nguyên tử như phân tích khối phổ kế (ICP-MS),
 60 phân tích kết hợp quang phổ phát xạ plasma với hệ
 61 thống cảm ứng (ICP-OES), quang phổ hấp thụ nguyên
 62 tử (FAAS)¹⁷⁻¹⁹. Một trong những hạn chế của các
 63 phương pháp này là việc chuẩn bị mẫu phân tích khá
 64 phức tạp, điều này có thể được khắc phục bằng kỹ
 65 thuật huỳnh quang tia X phản xạ toàn phần (TXRF).
 66 TXRF dựa trên việc ghi nhận các tia X đặc trưng phát
 67 ra từ các nguyên tố có trong mẫu. Một ưu điểm nữa
 68 của TXRF là có khả năng phân tích đồng thời đa
 69 nguyên tố với thời gian phân tích nhanh, độ nhạy của
 70 phương pháp có thể đạt đến mức hàm lượng ppb.
 71 Mẫu cá ngừ được thu thập từ chợ Đầm ở thành phố
 72 Quy Nhơn, tỉnh Bình Định nhằm xác định hàm lượng
 73 của các nguyên tố có khả năng gây độc gồm As, Cd,
 74 Pb và Hg, từ đó đánh giá mức độ an toàn cũng như
 75 những rủi ro tiềm ẩn lên sức khỏe người tiêu dùng,
 76 nếu có, khi tiêu thụ thực phẩm này.

77 **VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP**

78 **Thu thập và chuẩn bị mẫu phân tích**

79 04 con cá ngừ đại dương vây vàng (*Thunnus albacares*)
 80 (Hình 1) được đánh bắt từ vùng biển Đông Việt Nam,
 81 khối lượng trung bình 18 kg/con. Cá được mua từ
 82 chợ Đầm, thành phố Quy Nhơn, tỉnh Bình Định; ngày
 83 mua cá: 16/02/2024. Cách lấy mẫu tại chợ: sử dụng
 84 dao nhựa, không bị nhiễm kim loại, để cắt lấy 1,0 kg

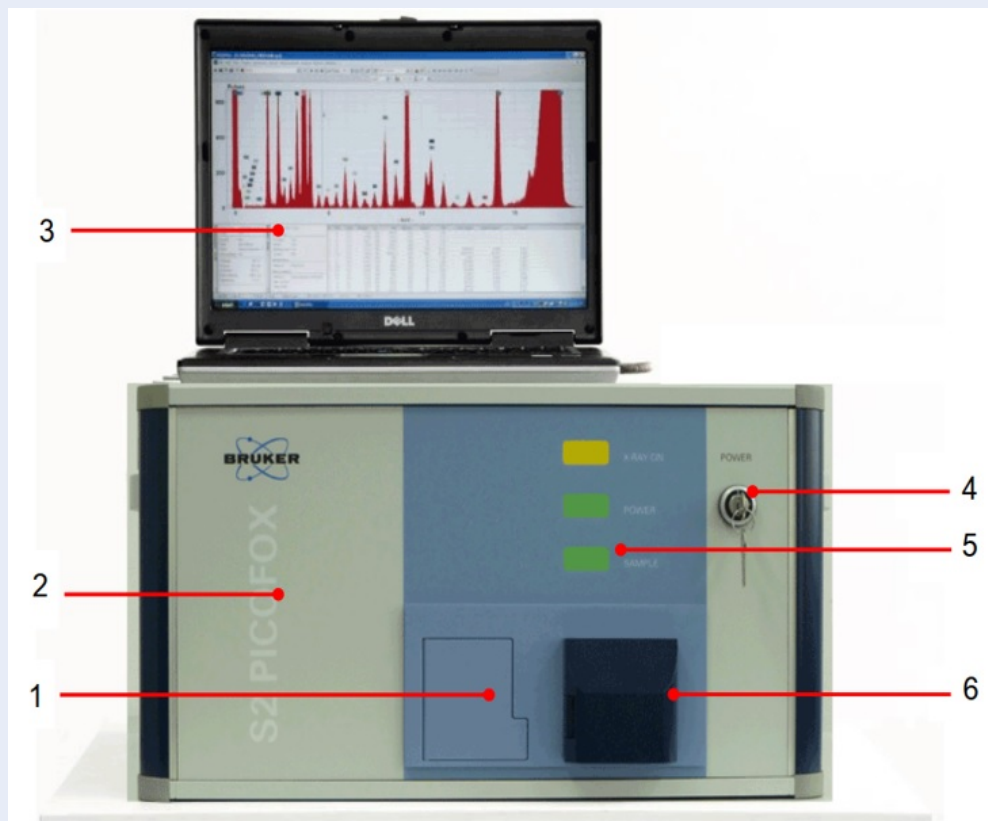
thịt cá từ cơ lưng của mỗi con cá ngừ. Mẫu được
 cho vào túi nhựa có dán nhãn, đặt trong thùng kín,
 giữ ở nhiệt độ đông lạnh và vận chuyển trực tiếp về
 phòng thí nghiệm để tiến hành các bước tiếp theo
 nhằm phân tích hàm lượng các nguyên tố cần quan
 tâm.
 Tạo mẫu trong phân tích TXRF: Từ 1 kg thịt 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 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 μL 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.

119 **Hệ phổ kế huỳnh quang tia X phản xạ toàn 120 phần (TXRF)**

121 Hàm lượng nguyên tố độc hại trong các mẫu cá được
 đo bằng kỹ thuật TXRF tại phòng thí nghiệm của
 122 Khoa Vật lý và Kỹ thuật Hạt nhân, Trường Đại học
 123 Đà Lạt. Hình 2 là hệ TXRF S2 PICOFOX™ sử dụng
 124 trong phân tích.
 125 Hệ phổ kế TXRF loại S2 PICOFOX™ do Brucker
 126 (Đức) sản xuất, loại đặt mẫu tự động, là hệ thống
 127 phân tích bán tự động, phân tích định tính và định
 128 lượng đồng thời nhiều nguyên tố, ngưỡng phát hiện
 129 đến ppb (μg.kg⁻¹), phân tích nguyên tố trên dải rộng
 130 từ Al đến U. Các bộ phận chính của hệ gồm: ống
 131 phát tia X sử dụng bia molipden với năng lượng phát
 132 khoảng 17,5 keV (Kα₁ = 17,479 keV, Kα₂ = 17,374
 133 keV), làm việc ở điều kiện điện áp 50 kV, dòng điện
 134 1000 μA; bộ lọc đơn năng là tinh thể đa lớp làm bằng
 135



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



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

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

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

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

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

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

150 Ở phương pháp TXRF, để tính hàm lượng các nguyên
 151 tố trong mẫu thì thường thêm vào mẫu đã đồng nhất
 152 một lượng nguyên tố không có trong thành phần của
 153

154 mẫu, nguyên tố này có năng lượng phát tia X đặc
155 trưng nhỏ hơn năng lượng phát tia X của vật liệu làm
156 anode của hệ phổ kế, gọi là nguyên tố chuẩn nội. Hàm
157 lượng của các nguyên tố trong mẫu được tính thông
158 qua hàm lượng nguyên tố chuẩn nội theo công thức
159 (2)²⁰:

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

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

165 Giới hạn phát hiện được xác định dựa trên số đếm
166 thống kê tại đỉnh và số đếm phông theo công thức
167 (3)²⁰:

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

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

171 Phương pháp thống kê

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

184 Ước tính nguy cơ không gây ung thư từ hàm 185 lượng các nguyên tố độc hại

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

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

189 E_F : là tần suất phơi nhiễm (365 ngày trong năm);
190 E_D : thời gian phơi nhiễm tương đương với tuổi thọ
191 trung bình của con người (ở Việt Nam, theo thống
192 kê năm 2023, tuổi thọ trung bình là 73,7 năm); F_{IR} :
193 mức tiêu thụ bình quân đầu người (gam/ngày); C :
194 hàm lượng kim loại (mg.kg^{-1} thể trọng/ngày); R_{FD} :
195 hàm lượng cho phép qua đường ăn uống (mg.kg^{-1}
196 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.

241 **KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN**

242 **Đánh giá điều kiện hoạt động của hệ phân**
243 **tích TXRF**

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

254 Kết quả Bảng 1 cho thấy tất cả 10 nguyên tố trong mẫu
255 chuẩn K-raff đều được phát hiện với sai số lớn nhất là
256 9,7 % (nguyên tố Mn). Kết quả này đáp ứng với yêu
257 cầu kiểm tra khả năng phân tích theo tiêu chuẩn của
258 nhà sản xuất thiết bị¹⁷.

259 **Hàm lượng các nguyên tố trong mẫu cá ngừ**

260
261 Tiến hành đặt 25 đĩa mang mẫu vào khe đặt mẫu để
262 thực hiện việc đo và thu nhận phổ TXRF, thời gian đo
263 từng mẫu là 10 phút. Bảng 2 trình bày kết quả phân
264 tích hàm lượng của 4 nguyên tố độc hại là As, Hg, Cd,
265 Pb trên cơ lưng của cá ngừ vây vàng thu mua tại chợ
266 Đầm, thành phố Quy Nhơn, tỉnh Bình Định.

267 **Arsenic (As)**

268 Hàm lượng As của tất cả các mẫu phân tích đều cao
269 hơn ngưỡng phát hiện. Hàm lượng trung bình của
270 As trong các mẫu khảo sát là $0,93 \pm 0,02 \text{ mg.kg}^{-1}$ mô
271 tươi. Kết quả phân tích As khá tương đồng với kết quả
272 phân tích trên hai loài cá ngừ *Thunnus obesus* và *Thun-*
273 *nus thynnus* thu thập từ các nhà hàng Nhật Bản ở Hàn
274 Quốc, với hàm lượng As phân tích được là $0,98 \pm 0,47$
275 mg.kg^{-1} mô tươi¹⁵. Theo các nghiên cứu trước đây
276 trên các mẫu cá, hầu hết As (khoảng 95%) được tìm
277 thấy trong mẫu phân tích là hợp chất hữu cơ, thí dụ
278 các hợp chất arsenobetain, arsenocholine và arseno-
279 suga. Ở dạng hợp chất hữu cơ, As ít độc và nhanh
280 chóng bị đào thải khỏi cơ thể con người, nên ít quan
281 trọng khi đánh giá an toàn thực phẩm³¹. Vì thế, giới
282 hạn tối đa của As hữu cơ đối với các loài cá không
283 được quy định. Tuy nhiên, lượng còn lại (khoảng
284 5%) là những dẫn xuất vô cơ có thể gây độc hại với
285 người tiêu dùng. Dựa trên kết quả phân tích được,
286 hàm lượng As dạng vô cơ là $0,05 - 0,10 \text{ mg.kg}^{-1}$, giá
287 trị trung bình của As vô cơ là $0,05 \pm 0,02 \text{ mg.kg}^{-1}$
288 mô tươi của cá ngừ (Bảng 2). Theo một số nghiên
289 cứu khác, ở một số vùng đánh bắt khác nhau thì hàm

lượng As vô cơ trong mô tươi của cá ngừ vây vàng 290
tương đối cao, thí dụ, giá trị As dạng vô cơ là $1,30 \pm$ 291
 $0,34 \text{ mg.kg}^{-1}$ mô tươi của cá ngừ ở Aracaju, Sergipe, 292
đông bắc Brazil³²; $3,78 \pm 2,24 \text{ mg.kg}^{-1}$ ở Tây Bắc Tây 293
Ban Nha¹⁶; $3,47 \pm 0,21 \text{ mg.kg}^{-1}$ ở cảng cá Jakarta, In- 294
donesia³³; $2,24 \pm 0,66 \text{ mg.kg}^{-1}$ ở khu vực phía đông 295
Thái Bình Dương xung quanh Mexico¹⁴. Theo giá trị 296
cho phép, lượng As tối đa trong chế độ ăn uống hàng 297
ngày không vượt quá $0,3 \mu\text{g.kg}^{-1}$ thể trọng/ngày³⁴. 298
Kết quả tính toán EDI theo Công thức (6) cho thấy 299
lượng As vô cơ trong các mẫu cá khảo sát thấp hơn 300
nhiều so với giá trị cho phép ở tất cả các mẫu mô cá 301
ngừ (ở người lớn: $0,037 \mu\text{g.kg}^{-1}$ thể trọng/ngày, trẻ 302
em: $0,133 \mu\text{g.kg}^{-1}$ thể trọng/ngày). 303

Cadmium (Cd) 304

305 Kết quả phân tích Cd được trình bày ở Bảng 2. Có 306
khoảng 40% các mẫu phân tích có hàm lượng Cd trên 307
ngưỡng phát hiện, tất cả các mẫu này đều có hàm 308
lượng dưới mức tối đa cho phép ($1 \mu\text{g.kg}^{-1}$) theo 309
tiêu chuẩn của Liên minh Châu Âu đối với cá ngừ³⁵. 310
Ở các khu vực đánh bắt khác nhau và trong các sản 311
phẩm thủy sản khác, hàm lượng Cd được phát hiện 312
có kết quả gần giống với nghiên cứu này. Thí dụ, mức 313
Cd là $0,01 \pm 0,01 \text{ mg.kg}^{-1}$ và $0,02 \pm 0,02 \text{ mg.kg}^{-1}$ 314
mô tươi trong thịt và mô vùng bụng của cá ngừ vây 315
vàng thu mua tại chợ cá ở Sri Lanka (Indonesia)³⁶ và 316
ở Galicia (Tây Ban Nha)³²; hàm lượng trung bình của 317
Cd là $0,03 \pm 0,03 \text{ mg.kg}^{-1}$ trong các loại cá ngừ vằn 318
(*Katsuwonus pelamis*), cá ngừ vây vàng, cá ngừ mắt to 319
(*Thunnus obesus*) ở Ecuador³⁷. Tuy nhiên, hàm lượng 320
trung bình của Cd khá cao ($0,25 \pm 0,21$ và $0,23 \pm 0,20$ 321
 mg.kg^{-1} mô tươi) trong thịt cá ngừ vây vàng ở bờ biển 322
phía tây Ấn Độ Dương, eo biển Mozambique và vùng 323
biển xung quanh đảo Reunion; hơn nữa các mẫu cá 324
khảo sát đều cho thấy lượng Cd tăng lên rất nhiều 325
lần trong gan cá (138 ± 60 và $126 \pm 130 \text{ mg.kg}^{-1}$ mô 326
tươi)³⁸.

Thủy ngân (Hg) 327

328 Kết quả phân tích cho thấy hàm lượng Hg trong hầu 329
hết các mẫu (93%) đều thấp hơn LLD ($0,22 \text{ mg.kg}^{-1}$ 330
) , do đó không thể thực hiện được phân tích thống 331
kê. Lượng thủy ngân được phát hiện thấp hơn giới 332
hạn theo tiêu chuẩn cho phép ở Bảng 2 ($1,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ 333
) trong tất cả các mẫu cá khảo sát. Ở một số nghiên 334
cứu trước đây trên thế giới, lượng thủy ngân phân 335
tích được dưới mức cho phép theo tiêu chuẩn. Trong 336
nghiên cứu năm 2013, hàm lượng Hg trong thịt cá 337
ngừ vây vàng là $0,30 \pm 0,14 \text{ mg.kg}^{-1}$ mô tươi tại 338
các khu vực Galle, Mutwal, Negombo và Trincoma- 339
lee 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 \pm sai số	0,93 \pm 0,02	0,05 \pm 0,02	0,03 \pm 0,01	NA	0,08 \pm 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 mg.kg^{-1} ¹⁶, 0,60 \pm 0,15 mg.kg^{-1} trong thịt cá ngừ ở Aracaju, Sergipe, đông bắc Brazil³¹, 0,55 \pm 0,43 mg.kg^{-1} trong thịt cá ngừ vây vàng và 0,40 \pm 0,31 mg.kg^{-1} của cá ngừ vằn 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 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ thể trọng/ngày). Thí dụ, EDI ở người lớn và trẻ em lần lượt là 0,081 và 0,293 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ 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 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ 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 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 mg.kg^{-1}), giá trị hàm lượng Pb phân tích được từ 0,06 đến 0,16 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 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 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 mg.kg^{-1})³⁶, 0,07 \pm 0,06 mg.kg^{-1} trong thịt cá ngừ vây vàng được thu thập tại Đông Thái Bình

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

386 **Đánh giá rủi ro sức khỏe khi ăn cá ngừ**

387 **Ước tính nguy cơ không gây ung thư**

388 Để đánh giá rủi ro không gây ung thư và gây ung
389 thư khi sử dụng cá, giá trị THQ thường được sử
390 dụng^{26,27,43}. Khi xét đến giá trị THQ của kim loại
391 bất kỳ < 1 thì tác dụng phụ khó có thể xảy ra, nhưng
392 nếu $\text{THQ} \geq 1$ thì tác dụng phụ có thể xảy ra. Ngoài
393 ra, khi $\text{TTHQ} \geq 10$, nguy cơ gây hại đến sức khỏe
394 cao đối với nhóm người bị phơi nhiễm⁴⁴. Thời gian
395 sống trung bình của người Việt Nam là 73,7 năm, sử
396 dụng cá ngừ toàn thời gian của một năm (365 ngày),
397 giả định toàn bộ thời gian sinh sống đều sử dụng cá
398 ngừ, thì kết quả tính toán THQ từ nghiên cứu này ở
399 người lớn trên các kim loại As, Cd và Pb lần lượt là
400 0,12, 0,02 và 0,15; đối với trẻ em là 0,67, 0,12 và 0,80.
401 Thứ tự sắp xếp giảm dần của đóng góp các kim loại
402 dựa trên THQ ở cả nhóm tuổi người lớn và trẻ em là
403 $\text{Pb} > \text{As} > \text{Cd}$. Kết quả này tương tự ở một số nghiên
404 cứu trước đây về đánh giá nguy cơ không gây ung thư
405 do ăn uống, sự đóng góp vào tổng số nguy hại lên cơ
406 thể của các kim loại (TTHQ) đối với Pb và As luôn
407 cao hơn so với các kim loại khác mặc dù hàm lượng
408 của chúng có thể thấp hơn.

409 **Ước tính nguy cơ không gây ung thư**

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

426 **KẾT LUẬN**

427 Bài báo trình bày việc sử dụng kỹ thuật huỳnh quang
428 tia X phản 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).

455 **LỜI CẢM ƠN**

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

458 **XUNG ĐỘT LỢI ÍCH**

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

461 **ĐÓNG GÓP CỦA CÁC TÁC GIẢ**

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

468 **TÀI LIỆU THAM KHẢO**

- 469 1. Pieniak Z, Verbeke W, Scholderer J. Health-related beliefs and
470 consumer knowledge as determinants of fish consumption. J
471 Hum Nutr Diet. 2010;23:480-8; Available from: <https://doi.org/10.1111/j.1365-277X.2010.01045.x>. 472
- 473 2. Kim J, Lim S-Y, Shin A, Sung M-K, Ro J, Kang H-S, et al. Fatty
474 fish and fish omega-3 fatty acid intakes decrease the breast
475 cancer risk: a case-control study. BMC Cancer. 2009;9:216. doi:
476 10.1186/1471-2407-9-216; Available from: <https://doi.org/10.1186/1471-2407-9-216>. 477
- 478 3. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).
479 Per capita consumption canned tuna fish in the world. 2015;. 479

- 480 4. Fakhri Y, Saha N, Miri A, Baghaei M, Roomiani L, Ghaderpoori
481 M, et al. Metal concentrations in fillet and gill of parrotfish
482 (Scarus ghobban) from the Persian Gulf and implications for
483 human health. *Food Chem Toxicol.* 2018;118:348-54; Available
484 from: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.05.041>.
- 485 5. Domingo JL, Bocio A, Falcó G, Llobet JM. Benefits and risks of
486 fish consumption: Part I. A quantitative analysis of the intake
487 of omega-3 fatty acids and chemical contaminants. *Toxicol-*
488 *ogy.* 2007;230:219-26; Available from: [https://doi.org/10.1016/](https://doi.org/10.1016/j.tox.2006.11.054)
489 [j.tox.2006.11.054](https://doi.org/10.1016/j.tox.2006.11.054).
- 490 6. Pirsahab M, Khosravi T, Sharafi K, Babajani L, Rezaei M. Mea-
491 surement of heavy metals concentration in drinking water
492 from source to consumption site in Kermanshah, Iran. *World*
493 *Appl Sci J.* 2013;21:416-23;.
- 494 7. Balali-Mood M, Naseri K, Tahergorabi Z, Khazdair MR,
495 Sadeghi M. Toxic mechanisms of five heavy met-
496 als: Mercury, lead, chromium, cadmium, and ar-
497 senic. *Front Pharmacol.* 2021;12:643972; Available from:
498 <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.643972>.
- 499 8. Shahsavani A, Fakhri Y, Ferrante M, Keramati H, Zandsal-
500 imi Y, Bay A, et al. Risk assessment of heavy metals bioac-
501 cumulation: fished shrimps from the Persian Gulf. *Toxin*
502 *Rev.* 2017;36:322-30; Available from: [https://doi.org/10.1080/](https://doi.org/10.1080/15569543.2017.1312451)
503 [15569543.2017.1312451](https://doi.org/10.1080/15569543.2017.1312451).
- 504 9. Godt J, Scheidig F, Grosse-Siestrup C, Esche V, Brandenburg P,
505 Reich A, et al. The toxicity of cadmium and resulting hazards
506 for human health. *J Occup Med Toxicol.* 2006;1:22-9; Available
507 from: <https://doi.org/10.1186/1745-6673-1-22>.
- 508 10. Zahir F, Rizwi SJ, Haq SK, Khan RH. Low dose mercury toxicity
509 and human health. *Environ Toxicol Pharmacol.* 2005;20:351-
510 60; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.etap.2005.03.007>.
- 511 11. Goyer RA. Lead toxicity: from overt to subclinical to sub-
512 tle health effects. *Environ Health Perspect.* 1990;86:177-
513 82; Available from: <https://doi.org/10.1289/ehp.9086177>.
- 514 12. Fraga CG. Relevance, essentiality and toxicity of trace el-
515 ements in human health. *Mol Aspects Med.* 2005;26:235-
516 44; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.mam.2005.07.013>.
- 517 13. Jaishankar M, Tseten T, Anbalagan N, Mathew BB, Beere-
518 gowda KN. Toxicity, mechanism and health effects of some
519 heavy metals. *Interdiscip Toxicol.* 2014;7:60-72; Available from:
520 <https://doi.org/10.2478/intox-2014-0009>.
- 521 14. Ruelas-Inzunza J, Slejkoec Z, Mazej D, Fajon V, Horvat M,
522 Ramos-Osuna M. Bioaccumulation of As, Hg, and Se in tunas
523 Thunnus albacares and Katsuwonus pelamis from the Eastern
524 Pacific: Tissue distribution and As speciation. *Environ Sci Pol-*
525 *lut Res.* 2018;25:19499-509; Available from: [https://doi.org/10.](https://doi.org/10.1007/s11356-018-2166-0)
526 [1007/s11356-018-2166-0](https://doi.org/10.1007/s11356-018-2166-0).
- 527 15. Bae SJ, Shin KS, Park C, Baek K, Son SY, Sakong J. Risk assess-
528 ment of heavy metals in tuna from Japanese restaurants in
529 the Republic of Korea. *Ann Occup Environ Med.* 2023; Avail-
530 able from: <https://doi.org/10.35371/aoem.2023.35.e3>.
- 531 16. Núñez R, García MÁ, Alonso J, Melgar MJ. Arsenic, cadmium
532 and lead in fresh and processed tuna marketed in Galicia (NW
533 Spain): Risk assessment of dietary exposure. *Sci Total Environ.*
534 2018;627:322-31;.
- 535 17. World Health Organization (WHO). Guidelines for Drinking-
536 water Quality: Recommendations. 2004;.
- 537 18. Ikem A, Egeibor NO. Assessment of trace elements in canned
538 fishes (mackerel, tuna, salmon, sardines and herrings) mar-
539 keted in Georgia and Alabama (United States of America).
540 *J Food Compos Anal.* 2005;18:771-87; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2004.11.002>.
- 541 19. Ganjavi M, Ezzatpanah H, Givianrad MH, Shams A. Effect of
542 canned tuna fish processing steps on lead and cadmium
543 contents of Iranian tuna fish. *Food Chem.* 2010;118:525-
544 8; Available from: [https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.05.](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.05.018)
545 [018](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.05.018).
- 546 20. Bruker. S2 PICOFOX™ TXRF Spectrometer for element analy-
547 sis. Bruker Nano GmbH. 2007;.
- 548 21. Higgins J, Thompson SG. Quantifying heterogeneity in a
549 meta-analysis. *Stat Med.* 2002;21:1539-58; Available from:
550 <https://doi.org/10.1002/sim.1186>.
- 551 22. Nair U. The standard error of Gini's mean differ-
552 ence. *Biometrika.* 1936;28:428-36; Available from:
553 <https://doi.org/10.1093/biomet/28.3-4.428>.
- 554 23. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Risk Assessment
555 Guidance for Superfund, vol. I Human Health Evaluation Man-
556 ual (Part A). Washington, D.C.; 2004;.
- 557 24. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). IRIS advanced
558 search. Washington, D.C.; 2018; Available from: [https://cfpub.](https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/search/index.cfm)
559 [epa.gov/ncea/iris/search/index.cfm](https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/search/index.cfm).
- 560 25. Tuna world's 2nd most consumed fish. Atuna. [https://atuna.co](https://atuna.com/pages/tuna-world-s-2nd-most-consumed-fish-2)
561 [m/pages/tuna-world-s-2nd-most-consumed-fish-2](https://atuna.com/pages/tuna-world-s-2nd-most-consumed-fish-2). Updated
562 March 23, 2024;.
- 563 26. Ghasemidehkordi B, Malekird AA, Nazem H, Fazilati M,
564 Salavati H, Shariatfar N, et al. Concentration of lead and mer-
565 cury in collected vegetables and herbs from Markazi province,
566 Iran: a non-carcinogenic risk assessment. *Food Chem Toxicol.*
567 2018;113:204-10; Available from: [https://doi.org/10.1016/j.fct.](https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.01.048)
568 [2018.01.048](https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.01.048).
- 569 27. Fathabad AE, Shariatfar N, Moazzen M, Nazmara S, Fakhri
570 Y, Alimohammadi M, et al. Determination of heavy metal
571 content of processed fruit products from Tehran's market
572 using ICP-OES: a risk assessment study. *Food Chem Toxi-*
573 *col.* 2018;114:12-9; Available from: [https://doi.org/10.1016/j.](https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.03.044)
574 [fct.2018.03.044](https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.03.044).
- 575 28. Cao S, Duan X, Zhao X, Ma J, Dong T, Huang N, et al. Health
576 risks from the exposure of children to As, Se, Pb and other
577 heavy metals near the largest coking plant in China. *Sci Tot-*
578 *al Environ.* 2014;472:1001-9; Available from: [https://doi.org/](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.11.124)
579 [10.1016/j.scitotenv.2013.11.124](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.11.124).
- 580 29. Bamuwamye M, Ogwok P, Tumuhairwe V. Cancer and non-
581 cancer risks associated with heavy metal exposures from
582 street foods: Evaluation of roasted meats in an urban setting.
583 *J Environ Pollut Hum Health.* 2015;3:24-30;.
- 584 30. Office of Environmental Health Hazard Assessment (OEHHHA).
585 Air toxics hot spots program technical support document for
586 cancer potencies. Appendix B. Update 2011;.
- 587 31. Abernathy CO, Liu YP, Longfellow D, Aposhian HV, Beck B,
588 Fowler B, et al. Arsenic: Health effects, mechanisms of actions,
589 and research issues. *Environ Health Perspect.* 1999;107:593-
590 7; Available from: <https://doi.org/10.1289/ehp.99107593>.
- 591 32. Da Silva CA, de Oliveira Santos S, Garcia CAB, de Pontes GC,
592 Wasserman JC. Metals and arsenic in marine fish commercial-
593 ized in NE Brazil: Risk to human health. *Hum Ecol Risk Ass-*
594 *ess.* 2020;26:695-712; Available from: [https://doi.org/10.1080/](https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1529552)
595 [10807039.2018.1529552](https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1529552).
- 596 33. Koesmawati TA, Arifin Z. Mercury and arsenic content in
597 seafood samples from Jakarta Fishing Port, Indonesia. *Mark*
598 *Res Indones.* 2015;40:9-16; Available from: [https://doi.org/10.](https://doi.org/10.14203/mri.v40i1.76)
599 [14203/mri.v40i1.76](https://doi.org/10.14203/mri.v40i1.76).
- 600 34. Wong C. Scientific opinion on arsenic in food. *Eur Food Saf*
601 *Auth.* 2009; Available from: [https://doi.org/10.2903/j.efsa.2009.](https://doi.org/10.2903/j.efsa.2009.1351)
602 [1351](https://doi.org/10.2903/j.efsa.2009.1351).
- 603 35. European Union. Commission Regulation (EU) No 1881/2006.
604 Off J Eur Union. 2023;119:103-57;.
- 605 36. Lehel J, Papp Z, Bartha A, Palotás P, Szabó R, Budai P, et al. Metal
606 load of potentially toxic elements in tuna (Thunnus albacares)
607 - Food safety aspects. *Foods.* 2023; Available from: [https://doi.](https://doi.org/10.3390/foods12163038)
608 [org/10.3390/foods12163038](https://doi.org/10.3390/foods12163038).
- 609 37. Ormaza-González FI, Ponce-Villao GE, Pin-Hidalgo GM. Low
610 mercury, cadmium and lead concentrations in tuna products
611 from the eastern Pacific. *Heliyon.* 2020;6; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04576>.
- 612 38. Kojadinovic J, Potier M, Le Corre M, Cosson RP, Bustamante
613 P. Bioaccumulation of trace elements in pelagic fish from the
614 Western Indian Ocean. *Environ Pollut.* 2007;116:548-
615 66; Available from: [https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.07.](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.07.015)
616 [015](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.07.015).
- 617 39. Orata F. Derivatization reactions and reagents for gas
618 chromatography analysis. *Open Chromatogr J.* 2012;6:1-
619 7; Available from: <https://doi.org/10.5772/33098>.
- 620 621

- 622 40. Jacobs MN, Covaci A, Gheorghe A, Schepens P. Time trend in-
623 vestigation of PCBs, PBDEs, and organochlorine pesticides in
624 selected fish species from the Belgian North Sea. *Mar Pollut*
625 *Bull.* 2004;49:281-7;.
- 626 41. Mieirol CL, Coelho JP, Pacheco M, Duarte AC, Pereira ME. Mer-
627 curry accumulation patterns and export pathways in European
628 sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) from a contaminated coastal
629 lagoon. *Estuar Coast Shelf Sci.* 2011;92:10-9;.
- 630 42. Alves LM, Maulvault AL, Barbosa V, Marques A, Anacleto P.
631 Transfer of potentially toxic elements in octopus species. *Env-*
632 *iron Pollut.* 2020;266:115212;.
- 633 43. OEHHA. Air toxics hot spots program technical support doc-
634 ument for cancer potencies. Appendix B. Chemical-specific
635 summaries of the information used to derive unit risk and can-
636 cer potency values. Update 2011;.
- 637 44. Lei M, Tie BQ, Song ZG, Liao BH, Lepo JE, Huang YZ. Heavy
638 metal pollution and potential health risk assessment of white
639 rice around mine areas in Hunan Province, China. *Food Secur.*
640 2015;7:45–54; Available from: [https://doi.org/10.1007/s12571-](https://doi.org/10.1007/s12571-014-0414-9)
641 [014-0414-9](https://doi.org/10.1007/s12571-014-0414-9).
- 642 45. IARC. International Agency for Research on Cancer. Hand-
643 books of Cancer Prevention. Lyon: The Agency; 2002;.
- 644 46. EPA. Regional screening levels (RSLs) - generic tables (June
645 2017). U.S. Environmental Protection Agency; 2017;.
- 646 47. Li PH, Kong SF, Geng CM, Han B, Lu B, Sun RF, et al. Assessing
647 the hazardous risks of vehicle inspection workers' exposure to
648 particulate heavy metals in their work places. *Aerosol Air Qual*
649 *Res.* 2013;13:255–65; Available from: [https://doi.org/10.4209/](https://doi.org/10.4209/aaqr.2012.04.0087)
650 [aaqr.2012.04.0087](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,*}



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

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:

DOI :



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; ():1-1.