

## 市售水產品汞含量調查分析

賴文正<sup>1</sup> 駱錫能<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>經濟部標準檢驗局基隆分局

<sup>2</sup>國立宜蘭大學食品科學系

### 摘要

本研究調查分析市售水產品的汞含量並進行分類比較。實驗以油魚和鱈魚執行方法確效，精密度的變異係數均在 6.3% 以下，回收率則在 95.2–95.9% 之間，進一步以兩種標準參考物質 (DORM-4 及 BCR-463) 進行準確度驗證，回收率亦高達 96.8 % 以上，顯示本方法之良好適用性。而以油魚為例，方法的最低偵測極限與定量極限則分別為 0.39 ppb 及 1.30 ppb。以建立之汞含量分析方法，檢測市售 23 種水產品，共計 211 件樣品，結果顯示屬迴游性大型魚類的水鯊、油魚、旗魚等平均含汞量分別為 0.647 ppm、0.619 ppm 和 0.556 ppm，屬 NRDC 規範之最高汞含量魚類；而鮪魚及鱈魚的汞含量較低，分別為 0.204 ppm 及 0.126 ppm。其餘中小型品種的魚類及淡水養殖魚類的汞含量則分別為 0.084 ppm 和 0.014 ppm，屬 NRDC 規範之低汞含量魚類。另外，魚鬆、魚罐頭及魚卵製品等加工製品中，汞含量分佈分別為 0.05~5.45 ppm、0.028~0.079 ppm 和 0.002~0.008 ppm，以魚鬆的汞含量為最高，魚鬆原料又可區分為旗魚鬆、鮪魚鬆、鮭魚鬆和未標示魚種之魚鬆等，除了鮭魚鬆外，其餘各種魚鬆的平均汞含量均超過 0.5 ppm。油魚和水鯊的甲基汞含量佔總汞含量的 96.2 和 98.6%，而旗魚鬆的甲基汞含量僅佔 19%，因此除了一件未標示原料魚種之魚鬆外，所檢測水產品的甲基汞含量均能符合我國現行之食品污染物的衛生標準。

**關鍵字:** 水產品，汞含量，甲基汞含量，方法確效。

\*通訊作者。E-mail: [snlou@niu.edu.tw](mailto:snlou@niu.edu.tw)

# Determination of Mercury Contents in Fishery Products on Local Market

Wen-Jen Lai <sup>1</sup>, Shyi-Neng Lou <sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Keelung Branch, Bureau of Standards, Metrology and Inspection, Ministry of Economic Affairs

<sup>2</sup> Department of Food Science, National Ilan University

## Abstract

The purpose of this study is to investigate mercury content in fishery products on local market and compare the difference between various groups. The method validation was carried out with oilfish and mahi as matrix. The coefficient of variance in precision determination was under 6.3%, while the recovery was between 95.2-95.9%. Furthermore, two standard reference materials were used to certify the accuracy, which the recovery was above 96.8%. This showed that the method is suitable for mercury determination of fishery products. The limit of detection (LOD) and limit of quantification (LOQ) of oilfish, for instance, was 0.39 ppb and 1.30 ppb, respectively. The mercury contents of 23 kinds of fishery products, included 211 samples, were determined by the established analysis method. The results indicated that the average mercury content of blue shark, oilfish, and swordfish, which belongs to large migratory fishes, were 0.647 ppm、0.619 ppm and 0.556 ppm, respectively. These can be classified as fish of highest mercury level, since the contents is larger than 0.5 ppm. However, the mercury contents of tuna and mahi were lower in the category of large migratory fishes with value in 0.204 ppm and 0.126 ppm, respectively. The mercury contents of middle/small fish, in species, and freshwater cultured fish were 0.084 ppm and 0.014 ppm, respectively, which is belongs to fish of least mercury. On the other hand, the fish floss contained the highest mercury content (0.05~5.45 ppm) of fishery products, included canned fish (0.028~0.079 ppm) and fish roe products (0.002~0.008 ppm). The raw materials of fish floss, including swordfish, tuna, salmon, and unlabeled, could be found. The average mercury content of individual fish floss showed larger than 0.5 ppm, except salmon as raw material. The ratio of methylmercury to mercury was 96.2% for oilfish and 98.6% for blue shark. However, the ratio for fish floss, swordfish as material, was only 19%. Thus, except a fish floss (raw material unlabeled), it could be proposed that the content of methylmercury of fishery products in this study are in compliance with the regulatory standard of food contamination.)

Keywords: fishery products, mercury content, methylmercury, method validation

\*Corresponding author. snlou@niu.edu.tw

## 壹、前言

汞是人體有害的重金屬，人體曝露主要來自魚類的飲食攝入 (Lincoln *et al.*, 2011; Passos *et al.*, 2008; Schaefer *et al.*, 2014)，汞的型態分無機汞及有機汞，相較於無機態的汞，有機汞對生物的毒性更高，特別是甲基汞 (Lin *et al.*, 2014)。有機汞會在體內與蛋白質等含硫成份結合而難以排除，慢性毒害侵蝕人體的健康 (Bernhoft, 2012; Lucchini *et al.*, 2002)。因此，世界各國於管理魚類之汞污染時均以汞含量或是甲基汞含量為主，根據 Watanabe 等人 (2012) 研究指出魚體汞含量在魚體肌肉部份佔 95%以上為甲基汞，因此由汞含量可以約略推估甲基汞的含量。文獻指出攝取魚的種類、數量、頻率、生活型態等與人類的血汞濃度息息相關 (Kim *et al.*, 2013; Li *et al.*, 2014; You *et al.*, 2014)，而大型迴游性魚類多屬海洋的掠食者，因為生物放大效應和生物累積效應 (Clayden *et al.*, 2013; Lavoie *et al.*, 2013)，體內常含有較高的甲基汞 (Dabeka *et al.*, 2014; Rodrigues *et al.*, 2013)。近年國內亦有針對大型迴游性魚類的汞含量分析，包括有鮪魚 (Chen *et al.*, 2014; 李, 2010; 鄧, 2010)、旗魚 (張, 2006) 等。另外有針對台中港漁市場 (曾, 1996) 和基隆地區 (傅, 2013) 之水產品的汞含量加以調查，對於全面性不同魚種汞含量的研究分析則較少。

因此，本研究針對外銷和內銷漁獲總計 23 種魚類，211 個樣品進行汞含量分析，首先建立有效分析方法，並進行方法確效；再針對水產品加以分類後進行分析，並依據 Natural Resources Defense Council (NRDC) -Consumer Guide to Mercury in Fish (NRDC, 2014) 的規範，將魚類分為：低汞含量 (Least mercury)，汞含量小於 0.09 ppm 者；中汞含量 (Moderate mercury)，0.09 到 0.29 ppm；高汞含量 (High mercury)，0.3 到 0.49 ppm；以及最高汞含量 (Highest mercury)，汞含量高於 0.5 ppm 以上等四個級別進行比較，以作為市售魚類汞污染情形及攝食評估之參考。

## 貳、材料與方法

### 一、材料

本研究採樣時間為 2013 年 4 月至 2014 年 4 月間，採用樣品為國內出口主要常見經

濟魚類，包括冷凍魚類：鱈魚 (*Mahi, Coryphaena hippurus*)、鯖魚 (*Mackerel, Scomber australasicus*)、水鯊 (*Blue shark, Prionace glauca*)、油魚 (*Oilfish, Lepidocybium flavobrunneum*)、鰱魚 (*Scad, Decapterus russelli*)、秋刀魚 (*Pacific saury, Cololabis saira*)、鰹魚 (*Bonito, Katsuwonus pelamis*)、吳郭魚 (*Tilapia, Oreochromis mossambicus*)、海鰻 (*Sea eel, Muraenesox cinereus*)、石喬 (*Wahoo, Acanthocybium solandri*)、鯰魚 (*Catfish, Silurus asotus*)、飛魚卵 (*Fly fish roe, Exocoetus volitans*) 等，均採自宜蘭地區水產冷凍工廠。另由宜蘭地區傳統市場採購鮪魚 (*Tuna*)、旗魚 (*Swordfish, Xiphias gladius*)、鱈魚 (*Cod, Dissostichus amissus*)、鱸魚 (*Seabass, Lates calcarifer*)、白蝦 (*Shrimp, Litopenaeus vannamei*)、蛤蜊 (*Clam, Meretrix meretrix*)、白帶魚 (*Hairtail*)、香魚 (*Ayu*)、嘉鱻 (*Sea bream*)、等樣品。部分樣品如鮭魚 (*Salmon*)、鮪魚 (*Tuna*)、皮刀魚 (*Moonfish, Mene maculata*)、鮪魚、魚鬆 (*Fish floss*)、紅燒鰻魚罐頭 (*Canned eel*)、油漬鮪魚罐頭 (*Canned tuna*)、茄汁鯖魚罐頭 (*Canned mackerel*) 等則採購自超市及網購產品。共計 23 種魚類 211 個樣本。除網購產品由物流業者冷凍直送實驗室外，其餘於採樣後儲存冰溫採樣箱，送至實驗室置於-20°C 凍藏備用。

## 二、方法

### (一) 樣品前處理

實驗使用 CEM 密閉式微波消解系統 (MARSXpress™)，參考 US FDA EAM: Section 4.5A 微波消化方法及 Entwisle (2004) 並加以修飾。取大型魚的尾肉和中小型魚的背肉，分別精稱約 0.5 g 置入消化瓶中，加入 10 mL 硝酸及 2 mL 過氧化氫後置入微波消化爐內，微波消化爐設定溫控操作模式，升溫時間 15 分鐘，溫度 200°C，維持 20 分鐘，功率設定依管數而定：8 管設定 800 W，16 管設定 1600 W。待程式執行完冷卻步驟取出。再參考高和張 (2012) 樣品前處理方法，將消化瓶內微波消化液倒於 50 mL 燒杯，並以純水洗滌消化瓶三次，洗液一併置於燒杯內，置入攪拌磁石，於加熱平板上加熱，待液體沸騰，黃綠煙霧消淨時即完成加熱步驟，降溫後以純水稀釋於 50 mL 定量瓶中。

### (三) 汞含量分析及方法確效

#### 1. 汞含量分析

將稀釋定量後之魚肉消化樣品瓶，置入冷蒸氣汞螢光光譜儀 (附加 Autosampler AS52S) (Analytik jena AG, Germany) 執行分析程式，分析程式條件如下表，每一件樣品採 2 重覆方式，每批樣品配置驗證標準物質、添加樣品及空白試劑同時進行消化以及分析程序。最後測得汞分析值，減掉空白試劑值，再乘以稀釋倍數即為樣品汞含量。

$$C = \frac{(C_{\text{TEST}} - C_{\text{BLANK}}) \times 10^{-3} \times V}{W}$$

C = 檢出濃度 (ppm)

C<sub>TEST</sub> = 試樣汞含量 (ng/mL)

C<sub>BLANK</sub> = 空白液汞含量 (ng/mL)

V = 稀釋之定量容積 (mL)

W = 樣品重 (g 或 mL)

冷蒸氣汞螢光光譜儀程式條件		Autosampler 操作條件	
激發光源	253.7nm	稀釋模式	永遠/自動
積分模式	Peak height/25 sec	稀釋體積比	3000 µl/6000 µl
Cycle time	40 sec	稀釋瓶	Water
幫浦速度	3	沖洗瓶	5%鹽酸
進樣時間	10 sec		
進樣容積	1 mL		
反應時間	10 sec		
氣體進速	10 nL/h 氫氣		
還原液	7%氯化亞錫		
酸洗液	0.5%鹽酸		
沖提氣體	99.999%氫氣		

## 2. 方法確效

### (1) 檢量線建立

10 µg/L 汞標準液置 50 mL 樣品瓶內，放入自動進樣器指定位置，同時以純水作為空白試劑放入另一樣品瓶，置入自動進樣器指定位置，預設六點濃度分別為 0.5、1.0、2.5、5.0、7.5 和 10 ppb，再執行自動檢量線程式，R<sup>2</sup> 需要在 0.995 以上。

### (2) 精密度評估-重複性和中間精密度

參考「食品化學檢驗方法之確效規範」(衛生福利部食品藥物管理署，2013)，魚肉樣品分油魚及鱈魚，均採 4 重覆試驗。同一魚肉樣品汞含量分析之同日間變異性，區分為上午與下午進行重複性實驗。中間精密度分析則執行異日間之變異性分析，連續 3 日每日進行試驗。

### (3) 準確度評估

添加回收率試驗，參考「食品化學檢驗方法之確效規範」的方法(衛生福利部食品藥物管理署，2013)，精稱約 0.5 克的油魚和鱈魚肉，分別不添加及加入 0.25 和 0.5mL

的 1ppm 汞標準溶液，經微波消化後定容至 50ml，做 0 ppb, 5ppb 和 10ppb 的標準添加樣品。取同一魚肉樣本採 4 重覆，添加後魚肉樣本之汞含量減掉未添加之魚肉樣本汞含量，即為添加汞檢出值，再除以原標準汞添加量，即可得到添加回收率。

#### (4) 最低偵測極限 (LOD) 與定量極限 (LOQ) 的測定

參考「食品化學檢驗方法之確效規範」(衛生福利部食品藥物管理署, 2013)，以油魚及旗魚進行汞含量最低偵測極限及定量極限之測定，其計算方式為：最低偵測極限 (LOD) = 3 s/m，而最低定量極限 (LOQ) = 10 s/m。s：標準差，m：檢量線之斜率。

### 3. 標準參考物質驗證

驗證標準參考物質分別有加拿大國科會 (NRC) 的角鯊 (Dogfish) 肌肉粉 (DORM-4)，驗證值是  $0.41 \pm 0.055$  ppm 及歐盟聯合研究中心 (JRC IRMM) 的鮭魚肌肉粉 (BCR 463)，驗證值是  $2.85 \pm 0.16$  ppm，樣品分析時採 3 重覆。

### 4. 甲基汞含量檢測

甲基汞檢測樣品包含油魚、水鯊和旗魚魚鬆等，分別委託杜夫來茵股份有限公司及台灣檢驗科技有限公司執行檢驗，檢測方法依據 102 年 9 月 6 日部授食字第 1021950329 號公告修正「食品中甲基汞之檢驗方法 (GC-ECD)」進行試驗。

## 參、結果與討論

### 一、分析方法的確效

#### (一) 精密度

為檢測分析方法之精密度，以油魚及鱈魚進行汞分析，比較同日間分析結果的重複性(表 1)，結果顯示油魚的汞含量為  $0.711 \pm 0.032$  ppm，其變異係數為 4.6%，而鱈魚則為  $0.045 \pm 0.002$  ppm，變異係數為 4.3%，兩者均小於 5%。

進一步分析中間精密度，樣品分三日連續進行汞含量測試，所得結果如表 2，油魚的平均汞含量為  $0.753 \pm 0.033$  ppm，其變異係數為 4.0%，鱈魚的平均汞含量則為  $0.049 \pm 0.03$  ppm，變異係數達 6.3%，均小於 7%，顯示精密度在可接受之範圍。

表 1. 魚肉汞含量分析之重複性

Table 1. Repeatability of mercury determination in fish

Fish	Hg (ppm)	C.V.(%)
Oilfish	0.711 ± 0.032	4.6
Mahi	0.045 ± 0.002	4.3

Values are mean ± S.D. (n=4)

表 2. 魚肉汞含量分析之中間精密度

Table 2. Intermediate precision of mercury determination in fish

Fish	Hg (ppm)			Mean	C.V.(%)
	Day1	Day2	Day3		
Oilfish	0.738 ± 0.013	0.734 ± 0.020	0.788 ± 0.034	0.753 ± 0.033	4.0
Mahi	0.046 ± 0.002	0.048 ± 0.002	0.052 ± 0.002	0.049 ± 0.003	6.3

Values are mean ± S.D. (n=4)

## (二) 準確度

### 1. 回收率

為測定魚肉樣品汞含量的回收率，實驗以油魚及鱈魚為基質，分別添加汞使其在魚肉中汞的添加量分別為 5 ppb 及 10 ppb，結果如表 3 所示，油魚添加 5 ppb 及 10 ppb 汞，分析後計算所得之回收率分別為  $93.4 \pm 5.4\%$  及  $98.3 \pm 3.6\%$ ，其變異係數則在 3.7~5.8% 之間。鱈魚肉添加 5 ppb 及 10 ppb 的汞標準溶液，其回收率經計算後分別為  $94.1 \pm 1.9\%$  及  $96.2 \pm 4.3\%$ ，變異係數非常穩定，介於 2.0~4.5% 之間，平均回收率在 95.2-95.9%，顯示以此方法測定汞含量具有良好之準確性。

表 3. 魚肉汞含量分析之回收率

Table 3. Recoveries of mercury determination in fish

Fish	Spike (ppb)	Determined Conc. (ppb)	Recovery (%)	Average (%)
Oilfish	5	4.68 ± 0.27	93.4 ± 5.4	95.9 ± 6.5
	10	9.83 ± 0.36	98.3 ± 3.6	
Mahi	5	4.71 ± 0.09	94.1 ± 1.9	95.2 ± 4.7
	10	9.62 ± 0.43	96.2 ± 4.3	

Values are mean ± S.D. (n=4)

## 2. 魚肉標準參考物質 (SRM) 之結果比較

為進一步確認汞含量之分析能力，實驗分別採用加拿大和歐盟之魚肉標準參考物質 (SRM) 作為樣本，進行汞含量之分析比對，其中加拿大國家科學委員會標準參考物質為角鯊(dogfish)肌肉粉 (DORM-4)，其驗證值範圍在  $0.41 \pm 0.055$  ppm。另外，歐盟標準參考物質為鮭魚肉粉 (BCR-463)，驗證值範圍在  $2.85 \pm 0.16$  ppm。經分析後所得結果分別為  $0.397 \pm 0.017$  ppm，以及  $2.83 \pm 0.07$  ppm (表 4)，平均值的回收率分別為 96.8% 和 99.5%，均符合「食品化學檢驗方法之確效規範」(衛生福利部食品藥物管理署，2013) 所列之範圍，顯示良好之分析能力。

表 4. 以標準參考物質評估魚肉汞含量分析之準確度

Table 4. Accuracy of mercury determination of fish estimated by analysis of standard reference materials (SRM)

SRM	Certified mercury content (ppm)	Determined concentration	Recovery (%)
NRC DORM-4	$0.410 \pm 0.055$	$0.397 \pm 0.017$	96.8%
BCR 463	$2.85 \pm 0.16$	$2.83 \pm 0.07$	99.5%

Values are mean  $\pm$  S.D. (n=3)

## (三) 最低偵測極限 (LOD) 和定量極限 (LOQ)

針對所建立之方法進行最低偵測極限及定量極限之測定，結果顯示如表 5，分別測定出油魚汞含量的最低偵測極限為  $0.0039 \mu\text{g/L}$ ，而定量極限則為  $0.013 \mu\text{g/L}$ 。由於本實驗魚肉樣品以稀釋 100 倍為分析時之條件，因此油魚樣品之最低偵測極限經換算為 0.39 ppb，定量極限為則為 1.3 ppb。而劍旗魚的最低偵測極限和定量極限則為 0.31 和 1.0 ppb。

表 5. 油魚及劍旗魚汞含量最低檢測極限 (LOD) 和定量極限 (LOQ)

Table 5. Limit of Detection (LOD) and Limit of Quantitation (LOQ) of mercury determination in oilfish and swordfish

Samples	Standard curve	LOD (ppb)	LOQ (ppb)
Oilfish	$Y=0.09216x-0.00216$	0.39	1.3
Swordfish	$Y=0.07982x-0.00385$	0.31	1.0

## 二、市售水產品的汞含量

## (一) 迴游性大型魚類



分析迴游性大型魚類包含水鯊 (blue shark)、油魚 (oilfish)、旗魚 (swordfish)、鮪魚 (tuna) 及鰹魚 (mahi) 等總計 105 件樣品之汞含量，其結果如表 6，顯示平均汞含量以水鯊 0.647 ppm 最高，油魚 0.619 ppm 次之，劍旗魚則為 0.556 ppm，如以美國 Natural Resources Defense Council (NRDC, US) 的汞含量分類表加以分類，以上三種魚類的平均汞含量均大於 0.5 ppm 者，屬最高汞含量魚類 (highest mercury)，風險程度較高。而鮪魚與鰹魚的平均汞含量分別為 0.204 ppm 及 0.126 ppm，其均明顯小於 0.5 ppm，含量介於 0.028~0.512 ppm 之間，除了一件鮪魚樣品超過 0.5 ppm 之外，其餘鮪魚和鰹魚樣品依分類屬於中汞含量魚類 (moderate mercury)。

表 6. 迴游性大型魚類之汞含量

Table 6. Mercury content of large pelagic marine fish

Samples	Sample amounts	Mean	Max	Min	> 0.5 ppm	
					amounts	%
Hg (ppm)						
Blue shark	36	0.647	0.989	0.234	25	69
Oilfish	17	0.619	1.008	0.216	11	65
Swordfish	23	0.556	1.518	0.036	12	52
Tuna	5	0.204	0.512	0.065	1	20
Mahi	24	0.126	0.398	0.028	0	0
Total	105	0.430	1.518	0.028	49	47

市售水鯊多以切片為主，片狀商品名又稱白旗魚片，常以包冰型態保鮮儲藏，另常以煙燻和煎魚排料理，水鯊也是出口水產品之大宗。實驗結果顯示其汞含量在 0.234-0.989 ppm 之間(表 6)，施等人(2006)檢測市售鯊魚的汞含量結果為  $0.644 \pm 0.295$  ppm，此結果與本實驗數值相近。本實驗測得 36 個樣品中有 25 件樣品的汞含量大於 0.5 ppm，亦即有 69% 的水鯊屬於高汞含量魚類，風險較高。然而，現行國內法規規範鯊魚、旗魚等甲基汞的限量值為 2 ppm 以下，又根據 Watanabe 等人 (2012) 研究指出魚體汞含量在魚體肌肉部份佔 95% 以上為甲基汞，因此，本次檢測水鯊樣本仍均符合國內法規之規定。

旗魚肉質結實，低脂無腥味，常作成魚排或打成魚鬆，常輸銷到歐盟地區，或為市售生魚片材料，其汞含量介於 0.036-1.518 ppm 之間，最高值為 1.518 ppm 尚低於甲基汞之法規標準。23 件樣品中有 12 件超過 0.5 ppm，佔 52%，其中有 17% 大於 1.0 ppm。

陳（2004）檢測劍旗魚汞含量值在 0.04–2.74 ppm 之間，比本次測定範圍寬廣，其平均值為 1.0 ppm，較本實驗之 0.556 ppm 高。

油魚其油蠟質佔體重五分之一而得其名，國內多用在鐵板燒烤料理，或作為鱈魚替代品。市售油魚雖體型未及鯊魚、旗魚等，但因其覓食生活於深海，環境中食物鏈的汞污染易積蓄放大，因此其汞含量亦受關注。本實驗分析油魚的汞含量平均值為 0.619 ppm，數值分佈在 0.216-1.008 ppm 之範圍，其歸類亦屬最高汞含量魚類 (>0.5 ppm)，17 件樣品中有 11 件超過 0.5 ppm，佔 65%。文獻指出台灣海域捕獲之油魚的汞含量為 1.72 ppm，數值介於 0.90–4.01 ppm，印度洋捕獲之油魚汞含量則為 0.93 ppm，介於 0.44–1.59 ppm 之間（陳，2004）。本實驗測定值遠小於陳（2004）之結果。推測可能是樣品魚體大小不同所致，或是不同捕獲區域所造成。

鮪魚平均汞含量為 0.204 ppm，分布範圍為 0.065~0.512 ppm，5 件樣品中有一件超過 0.5 ppm，佔 20%。樣品來源主要為以生魚片及鮪魚夾壽司販售。Nakagawa 等人（1997）就日本民眾攝食的藍鰭鮪魚進行調查，平均汞含量達 1.11 ppm，分布範圍為 0.36~5.25 ppm。鄧（2010）研究大目鮪測得汞含量為  $0.786 \pm 0.386$  (0.324-3.133) ppm；賴（2009）研究顯示太平洋長鰭鮪與大目鮪肌肉中的汞含量分別為  $0.435 \pm 0.145$  和  $0.279 \pm 0.087$  ppm。本實驗檢測值相對偏低，因本實驗樣品來源主要是市售生魚片，可能多為體型較小之鮪魚，因此數值偏低，不過實驗樣品數較少，確切原因尚待探討。

鱈魚大多做為魚排，因為味美無刺，為外銷美國的主要魚種，24 件鱈魚的汞含量平均值為 0.126 ppm，分布於 0.028~0.398 ppm，並無任何樣品超過 0.5 ppm。與文獻資料相比較，本實驗鱈魚的汞含量為 0.126 (0.028~0.398) ppm 與陳（2004）0.22 (0.12-0.38) ppm 及 US FDA 監測計劃 (US FDA, 2014) 0.2 (0.04-0.45) ppm 相較，本實驗分析結果較低。與許（2002）的 0.138 (0.045~0.506) ppm 和 Adams（2009）的 0.100 (0.012~0.55) ppm 的分析結果相近。鱈魚汞含量較其他大型掠食性魚類相較偏低與其成長快速、覓食於海洋深 100 公尺以上淺層有關，因甲基汞的轉化生成與光化學作用及海水深度有關（Choy *et al.*, 2009）。

綜合以上，水鯊、油魚、旗魚屬最高汞含量魚類，且其均有 50% 的樣品汞含量超過 0.5 ppm，而鮪魚、鱈魚則屬中汞含量魚類，極少樣品超過 0.5 ppm，所有樣品均符合國內法規標準。

## （二）中小型魚類

表 7 為中小型魚類汞含量之分析結果，除鯉魚平均汞含量為 0.296 ppm，分布範圍

為 0.130~0.412 ppm，6 件樣品中有 3 件超過 0.3 ppm，佔 50%，但均未超過 0.5 ppm，可被歸類為中汞含量魚類。其餘的紅目鱧 (Seabream)、皮刀 (Moon fish)、鱈魚 (Cod)、石喬 (Wahoo)、鯖 (Mackerel)、硬尾 (Scad)、白帶魚 (Hairtail)、秋刀魚 (Pacific saury)、海鰻 (Eel) 和鮭魚 (Salmon) 和土魷 (Kingfish) 等多屬於低汞程度 ( $Hg < 0.09$ ) ppm，其中鱈魚與鮭魚屬進口魚種，其餘多屬近海捕撈。本實驗檢測之鯖魚的汞含量為 0.057 ppm，分布範圍為 0.013~0.121 ppm 之間，秋刀魚的汞含量則為 0.045 ppm，分布範圍在 0.015~0.086 ppm，此類體型較小的大宗經濟魚種均屬低汞魚種。此結果與 Park 等人 (2011) 檢測鯖魚的汞含量 (0.06 ppm) 及秋刀魚的汞含量 (0.04 ppm) 的分析結果相似。另外，美國 FDA 建議婦女不要攝食的王鯖(king mackerel)與本地產之鯖魚 (Spotted mackerel) 同科不同屬，其體型大小及含汞量均有明顯的差異。

市售鱈魚 (cod) 在民間一般交易中常泛指白肉魚，包括大比目魚、圓鱈、甚至油魚都有可能被標示成鱈魚在漁市銷售，本次實驗中，傳統市場和超市的鱈魚樣品，汞含量為 0.072 ppm，介於 0.032~0.108 ppm 之間 (表 7)，屬中低汞範圍，然而，過去曾有報導指出鱈魚的汞含量超標，推測可能是油魚混充鱈魚所致。

表 7. 中小型魚類的汞含量

Table 7. Mercury content of fish species in small and medium size.

Samples	Sample amounts	Mean	Max	Min
Hg (ppm)				
Bonito	6	0.296	0.412	0.130
Sea bream	3	0.101	0.126	0.063
Moonfish	2	0.080	0.095	0.066
Cod	4	0.072	0.108	0.032
Sea eel	1	0.072	0.072	0.072
Wahoo	3	0.057	0.120	0.021
Mackerel	9	0.057	0.121	0.013
Scad	8	0.053	0.169	0.010
Hairtail	3	0.050	0.074	0.023
Pacific saury	9	0.045	0.086	0.015
Salmon	5	0.017	0.026	N.D.
Total	53	0.084	0.412	N.D.

N.D.: not detectable

白帶魚與秋刀魚也有媒體曾報導汞含量偏高，惟依據國內相關文獻(施等, 2006; 陳,

2004) 以及本次實驗之分析結果，白帶魚的平均汞含量為 0.050 ppm，介於 0.023~0.074 ppm 之間和秋刀魚平均汞含量為 0.045 ppm，介於 0.015~0.086 ppm 之間，均屬低汞魚類，消費者應可安心食用。

石喬魚在外觀上可能易與北美的王鯖混淆，不過兩者的汞含量相差頗大，實驗檢測 3 尾石喬魚，汞含量僅有 0.055 ppm，屬低汞魚類，而北美的王鯖的汞含量為 0.73 ppm (US FDA Mercury Levels in Commercial Fish and Shellfish 1990-2010)，被歸類為高汞魚種。綜合以上，中小型魚類中，僅鯉魚為汞含量介於 0.09~0.29 ppm 之間的中汞魚類，其餘中小型魚類，依分類均屬於低汞魚類。

### (三) 淡水養殖水產品

六種淡水養殖水產品，包括鱸魚(Seabass)、香魚(Ayu)、白蝦(Shrimp)、蛤蜊(Clam)、吳郭魚(Tilapia)、鯰魚(Catfish)等之汞含量分析結果如表 8，顯示鱸魚汞含量為 0.043 ppm，分布範圍介於 0.033~0.057 ppm 之間，香魚汞含量則為 0.021 ppm，分布於 0.019~0.023 ppm 之間；而白蝦汞含量為 0.007 ppm，其範圍則為 0.003~0.010 ppm 之間。蛤蜊和吳郭魚的汞含量皆相當低，平均值均為 0.006 ppm，分布範圍則分別為 0.004~0.009 ppm 和介於 0.002~0.008 ppm 之間，在鯰魚則未檢出汞含量。顯示養殖水產品環境水質具有適當管控，可減少重金屬污染之虞，另外，若水產品成長快速、生長週期短，汞污染積蓄程度相對亦會較低 (Sharma *et al.*, 2008; Ward *et al.*, 2010)。

表 8. 淡水養殖水產品之汞含量

Table 8. Mercury content of freshwater cultured fish.

Samples	Sample amounts	Mean	Max	Min
Hg (ppm)				
Seabass	3	0.043	0.057	0.033
Ayu	2	0.021	0.023	0.019
Shrimp	2	0.007	0.010	0.003
Clam	7	0.006	0.009	0.004
Tilapia	7	0.006	0.008	0.002
Catfish	1	N.D.	N.D.	N.D.
Total	22	0.014	0.057	N.D.

N.D.: not detectable

### (四) 市售魚類加工製品

檢測市售各式魚類加工製品共 31 件，分屬魚鬆類 (Fish floss)、罐頭類 (Canned)

及魚卵 (Fish roe) 三大類 (表 9)。魚鬆類依其標示原料來源分為旗魚鬆、鮪魚鬆、鮭魚鬆及未標示魚種魚鬆，總計檢測 14 個樣本，其中以未標示魚種魚鬆的平均汞含量最高，其值達 2.313 ppm，分布範圍在 0.58~5.45 ppm 之間，旗魚鬆的汞含量為 0.754 ppm，介於 0.34~1.12 ppm 之範圍，鮪魚鬆的汞含量為 0.505 ppm，分布在 0.34~0.67 ppm 之範圍，而鮭魚鬆的汞含量則最低，僅有 0.264 ppm，分布範圍是 0.05~0.40 ppm。未標示魚種魚鬆、旗魚鬆和鮪魚鬆均可歸類為高汞含量產品。

未標示魚種魚鬆之原料魚種來源不明，其中 4 件樣本範圍從 0.58~5.45 ppm，均大於 0.5 ppm，皆可歸類為最高汞含量魚類之範圍；其最高檢測值達 5.45 ppm，但是國內法規對於加工魚鬆並未訂定標準，以其原料來源為 60-63%的魚肉製成率加以回溯推算（經濟部標準檢驗局-漁產品製成率參照表，2011），推測其原料汞含量約為 3.27-3.43 ppm 之範圍，已知魚肉一般汞含量的 95%以上為甲基汞，則本件樣品的原料顯然是大型洄游性魚類所製成，且已超過國內法規甲基汞限量標準 2.0 ppm。旗魚鬆 5 件樣品中有 4 件超過 0.5 ppm，佔 80%。鮪魚鬆 2 件樣品中有 1 件超過 0.5 ppm，佔 50%，旗魚鬆及鮪魚鬆這兩種是市面上最常見傳統魚鬆製品，因原料含汞量已偏高，再經加工濃縮，屬高汞魚肉製品。鮭魚鬆共 3 件樣本，汞含量均低於 0.5 ppm。

表 9. 市售魚類加工製品的汞含量

Table 9. Mercury content of fishery products on local market

Samples	Sample amounts	Mean	Max	Min	>0.5 ppm		
					amounts	%	
Fish floss		Hg (ppm)					
	Swordfish	5	0.754	1.12	0.34	4	80
	Tuna	2	0.505	0.67	0.34	1	50
	Salmon	3	0.264	0.40	0.05	0	0
	Unknown	4	2.313	5.45	0.58	4	100
Canned							
	Eel	4	0.060	0.071	0.051	0	0
	Tuna	4	0.060	0.079	0.048	0	0
	Mackerel	3	0.042	0.053	0.028	0	0
Fish roe	Flyfish	6	0.004	0.008	0.002	0	0
Total		31	0.129	5.45	0.002	9	29

圖 1a 比較魚鬆與原料魚肉之汞含量，發現加工過之魚鬆產品的汞含量均明顯高於原料魚肉之汞含量。由此推測魚鬆製作過程中，可能因乾燥脫除水分造成魚肉中的汞含量濃縮增高。2012 年中國大陸曾發生嬰幼兒奶粉含汞異常事件（雲，2012），經推測可能是乳牛吃到含汞魚粉再分泌乳汁所造成（Amlund *et al.*, 2007; Dorea, 2006; Mahajan *et al.*, 2012），魚粉（Fishmeal）與魚鬆（Fish floss）均是類似的魚肉乾燥製品。魚鬆屬魚類加工製品，目前我國並無適當法令規範其含汞量，歐盟歸類為漁產品（Fishery products），總汞含量的限量值為 0.5 ppm，魚粉在歐盟（EFSA, 2008）作為飼料，其含汞量亦不可超過 0.5 ppm。另本實驗各種魚鬆汞成分差異頗大，同類魚鬆汞含量高低亦明顯不同，顯見魚鬆主成分和副原料各廠家的配方內容組成不同，可能亦會影響其汞含量。

然而以旗魚鬆為例（表 10），其甲基汞含量可能因加工過程造成分解，因此其含量僅有 0.23 ppm，佔總汞含量的 19%，明顯低於一般魚類甲基汞含量佔總汞量的比例（95% 以上），本實驗中水鯊和油魚的甲基汞比例為總汞的 98.6% 和 96.2%（見表 10），因此魚鬆焙炒加工過程雖造成總汞含量增加，但是亦會造成甲基汞含量減少，其可能的危害風險亦相對降低。因此，前述未標示魚種魚鬆的一件樣品汞含量高達 5.45 ppm，若以甲基汞佔有 19% 計算則甲基汞含量約為 1.04 ppm，仍低於 2.0 ppm。

表 10. 魚肉及魚鬆之甲基汞及汞含量

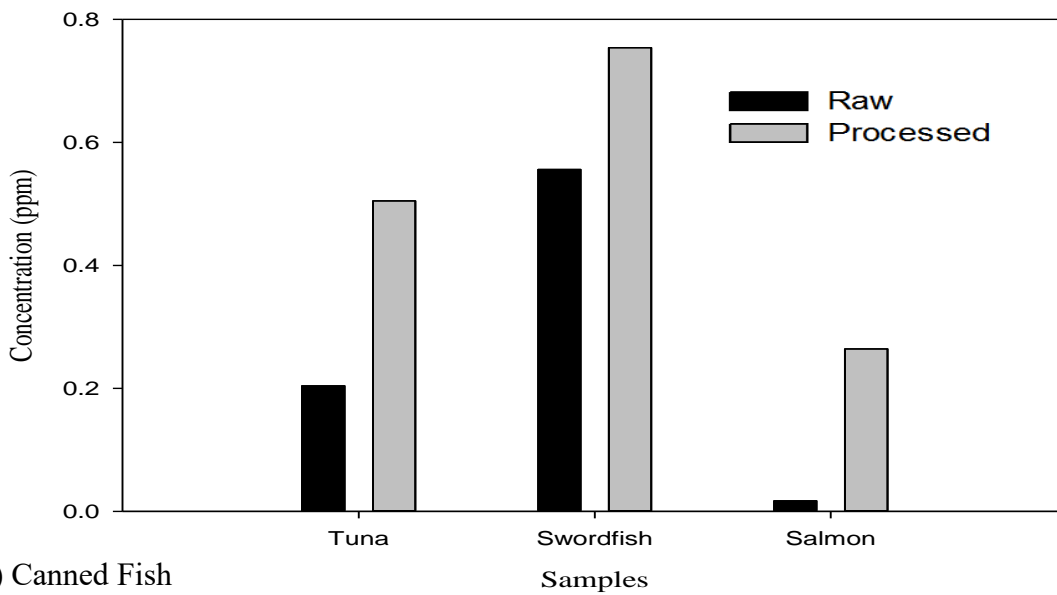
Table 10. Contents of methylmercury and mercury of fish and fish floss

Samples	Methylmercury (ppm)	Mercury (ppm)	Methylmercury(as Hg)* /Mercury (%)
Blue shark	0.64	0.598 ± 0.019	98.6%
Oilfish	0.48	0.459 ± 0.022	96.2%
Swordfish floss	0.23	1.118 ± 0.109	19.0%

\* Methylmercury (as Hg) = Conc<sub>M-Hg</sub> × (M<sub>WHg</sub>/M<sub>WM-Hg</sub>) = Conc<sub>M-Hg</sub> × 0.92

罐頭類產品的汞含量分析結果如表 9，發現鰻魚罐頭和鮪魚罐頭的汞含量皆為 0.060 ppm，其分布範圍分別介於 0.051~0.071 ppm 和 0.048~0.079 ppm 之間，而鯖魚罐頭的汞含量則最低，其值為 0.042 ppm，分布範圍在 0.028~0.056 ppm，三者均屬低汞魚種範圍。本次檢測鯖魚罐頭汞含量與 Shim 等人(2004)檢測鯖魚罐頭之數值相近(0.055 ppm)，鮪魚罐頭則與 light tuna (0.052-0.340 ppm) 的範圍相近。

(a) Fish floss



(b) Canned Fish

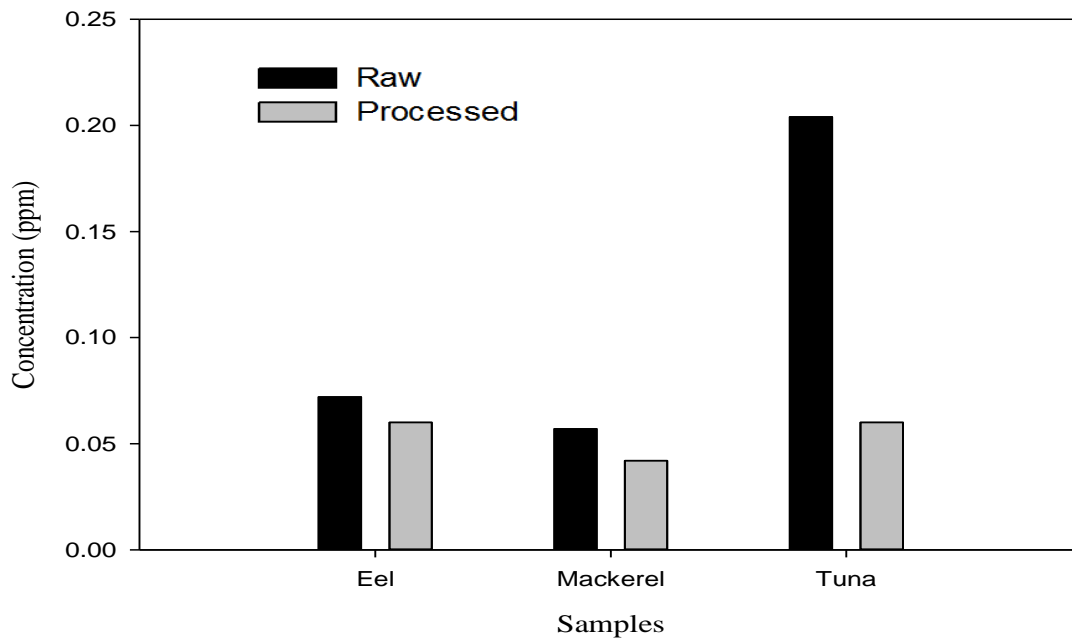


圖 1. 市售魚產品原料與加工品之汞含量比較。

Fig 1. Comparison of mercury contents between fish raw materials and its processed products from local market.

圖 1b 為各類罐頭與原料魚肉之汞含量比較，鮪魚罐頭的汞含量（0.060 ppm）遠低於鮪魚肉（0.204 ppm），而鰻魚罐頭及鯖魚罐頭的汞含量亦皆較原料魚肉為低，顯示罐頭加工可能會造成魚肉汞含量的下降。然而，Rasmussen and Morrissey（2007）研究鮪魚製罐前後汞含量的變化，發現原料重量會減少 12.8%，而汞濃度則會增加 23%。另有關罐頭汁液的研究則指出，不管是水漬或油漬長鱗鮪魚罐頭總汞成分不會有明顯的改變

(Shim *et al.*, 2004)。因此，本實驗結果尚待進一步研究加以釐清。

綜合以上，顯示魚肉加工產品的加工方式會影響其成品的汞含量，魚鬆製品加工後汞含量會增加，推測可能是因為乾燥過程水分流失所致。魚鬆製品汞含量較其他產品高，其中一件產品未標示魚種原料，其有超過法規標準之虞。而罐頭製品加工後的汞含量可能會有微的下降，其原因仍有待進一步研究探討。六件魚卵製品-調味飛魚卵的汞含量分析結果為 0.004 ppm (表 9)，顯示魚卵的汞含量極低，應較無汞危害風險之虞。

## 肆、結論

本實驗建立有效測定魚肉汞含量的方法，檢測 211 件水產品其中迴游性大型魚類之水鯊、旗魚和油魚的平均汞含量均大於 0.5 ppm，歸屬最高汞含量魚類。其餘中小型品種之魚類及淡水養殖水產品平均汞含量皆低於 0.3 ppm，歸屬中、低汞魚類。旗魚鬆、鮪魚鬆及未標示魚種之魚鬆等加工製品的汞含量均超過 0.5 ppm，主要為加工過程脫水所造成之濃縮效應所致，但是其甲基汞所佔的比例卻有下降。而罐頭類及魚卵產品的汞含量均低，可歸類為低汞魚類。以甲基汞佔總汞含量的比例推估甲基汞含量，可知所檢測 211 件水產品中除了一件未標示原料魚種之魚鬆製品外，其餘水產品均符合國內的衛生標準。

## 參考文獻

- 李信賢。2010。印度洋賽席爾群島海域黃鰭鮪汞濃度蓄積之研究。國立中山大學海洋生物科技暨資源學系研究所碩士論文。高雄市。
- 施如佳、陳石松、張美華、邱雅琦、陳怡如、鄭秋真、周薰修。2006。台灣地區市售海洋魚類重金屬含量分析方法探討及資料之建立。藥物食品檢驗局調查研究年報 24: 401-420。
- 高靜、張正江。2012。高壓消解-原子螢光光譜儀測定食物中的汞。檢驗臨床醫學 9: 2158。
- 許芬聖。2002。鬼頭刀體內汞蓄積之研究。國立中山大學海洋資源研究所碩士論文。高雄市。
- 陳石松。2004。魚類中有機汞物種和重金屬暨貝類中有機錫物種和重金屬之含量檢測。國立台灣海洋大學食品科學研究所博士學位論文。基隆市。
- 傅淑英。2013。基隆市售魚產品之重金屬含量調查。國立海洋大學食品科學系碩士論文。



基隆市。

曾政鴻。1996。臺中港魚市魚貨重金屬含量之調查。臺灣營養會誌 21: 177-188。

雲無心。2012。奶粉汞異常事件。2019 年 12 月 29 日，取自「達人解讀」：

<http://health.msn.com.cn/food/20120806/09391447311.shtml>

衛生福利部食品藥物管理署。2013。食品化學檢驗方法之確效規範（第二次修正）。

鄧培好。2010。大西洋和印度洋大目鮪肌肉中總汞及有機汞濃度的研究。國立中山大學海洋生物科技暨資源學系研究所碩士論文。高雄市。

賴建成。2009。太平洋長鰭鮪及大目鮪白色肌肉中總汞與有機汞蓄積之研究。國立中山大學海洋生物科技暨資源學系研究所碩士論文。高雄市。

Adams, D. H. 2009. Consistently low mercury concentrations in dolphinfish, *Coryphaena hippurus*, an oceanic pelagic predator. *Environ. Res.* 109: 697-701.

Amlund, H., A. K. Lundebye, and M. H. Berntssen. 2007. Accumulation and elimination of methylmercury in Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) following dietary exposure. *Aquat. Toxicol.* 83: 323-330.

Bernhoft, R. A. 2012. Mercury toxicity and treatment: a review of the literature. *J. Environ. Public Health.* 2012: 460508.

Chen, C. Y., C. C. Lai, K. S. Chen, C. C. Hsu, C. C. Hung, and M. H. Chen. 2014. Total and organic mercury concentrations in the muscles of Pacific albacore (*Thunnus alalunga*) and bigeye tuna (*Thunnus obesus*). *Mar. Pollut. Bull.* 85: 606-612.

Choy, C. A., B. N. Popp, J. J. Kaneko, and J. C. Drazen. 2009. The influence of depth on mercury levels in pelagic fishes and their prey. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 106: 13865-13869.

Clayden, M. G., K. A. Kidd, B. Wyn, J. L. Kirk, D. C. Muir, and N. J. O'Driscoll. 2013. Mercury biomagnification through food webs is affected by physical and chemical characteristics of lakes. *Environ. Sci. Technol.* 47: 12047-12053.

Dabeka, R. W., A. D. McKenzie, and D. S. Forsyth. 2014. Total mercury in canned tuna sold in Canada in 2006. *Food Addit. Contam. Part B. Surveillance.* 7: 110-114.

Dorea, J. G. 2006. Fish meal in animal feed and human exposure to persistent bioaccumulative and toxic substances. *J. Food Prot.* 69: 2777-2785.

EFSA. 2008. Mercury as undesirable substance in animal feed- Scientific opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain. *EFSA* 654: 1-76.

Entwisle, J. 2004. Determination of Mercury in Microwave Digests of Foodstuffs by ICP-MS. 2019.12.09, from Agilent Technol.:

<https://www.chem.agilent.com/Library/applications/5989-0027EN.pdf>

- Kim, N. Y., S. J. Ahn, D. Y. Ryu, B. S. Choi, H. Kim, I. J. Yu, and J. D. Park. 2013. Effect of lifestyles on the blood mercury level in Korean adults. *Hum. Exp. Toxicol.* 32: 591-599.
- Lavoie, R. A., T. D. Jardine, M. M. Chumchal, K. A. Kidd, and L. M. Campbell. 2013. Biomagnification of Mercury in Aquatic Food Webs: A Worldwide Meta-Analysis. *Environ. Sci. Technol.* 47: 13385-13394.
- Li, M., L. S. Sherman, J. D. Blum, P. Grandjean, B. Mikkelsen, P. Weihe, E. M. Sunderland, and J. P. Shine. 2014. Assessing Sources of Human Methylmercury Exposure Using Stable Mercury Isotopes. *Environ. Sci. Technol.* 48: 8800-6.
- Lin, Y. S., G. Ginsberg, J. L. Caffrey, J. Xue, S. V. Vulimiri, R. G. Nath, and B. Sonawane. 2014. Association of body burden of mercury with liver function test status in the U.S. population. *Environ. Int.* 70: 88-94.
- Lincoln, R. A., J. P. Shine, E. J. Chesney, D. J. Vorhees, P. Grandjean, and D. B. Senn. 2011. Fish consumption and mercury exposure among Louisiana recreational anglers. *EHP.* 119: 245-251.
- Lucchini, R., I. Cortesi, P. Facco, L. Benedetti, D. Camerino, P. Carta, M. L. Urbano, A. Zaccheo, and L. Alessio. 2002. Neurotoxic effect of exposure to low doses of mercury. *Medicina del lavoro.* 93: 202-214.
- Mahajan, V. E., R. R. Yadav, N. P. Dakshinkar, V. M. Dhoot, G. R. Bhojane, M. K. Naik, P. Shrivastava, P. K. Naoghare, and K. Krishnamurthi. 2012. Influence of mercury from fly ash on cattle reared nearby thermal power plant. *Environ. Monit. Assess.* 184: 7365-7372.
- Nakagawa, R., Y. Yumita, and M. Hiromoto. 1997. Total mercury intake from fish and shellfish by Japanese people. *Chemosphere* 35: 2909-2913.
- Natural Resources Defense Council. 2014. *Consumer Guide to Mercury in Fish.* New York, USA.
- Park, J. S., S. Y. Jung, Y. J. Son, S. J. Choi, M. S. Kim, J. G. Kim, S. H. Park, S. M. Lee, Y. Z. Chae, and M. Y. Kim. 2011. Total mercury, methylmercury and ethylmercury in marine fish and marine fishery products sold in Seoul, Korea. *Food Addit. Contam. Part B. Surveillance.* 4: 268-274.
- Passos, C. J., D. S. Da Silva, M. Lemire, M. Fillion, J. R. Guimaraes, M. Lucotte, and D. Mergler. 2008. Daily mercury intake in fish-eating populations in the Brazilian Amazon. *Expo. Sci. Environ. Epidemiol.* 18: 76-87.
- Rasmussen, R. S., and M. T. Morrissey. 2007. Effects of canning on total mercury, protein, lipid, and moisture content in troll-caught albacore tuna (*Thunnus alalunga*). *Food Chem.* 101: 122

1130-1135.

- Rodrigues, M. V., R. S. Yamatogi, M. J. Sudano, J. A. Galvao, A. C. de Perez, and G. F. Biondi. 2013. Mercury concentrations in South Atlantic swordfish, *Xiphias gladius*, caught off the coast of Brazil. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 90: 697-701.
- Schaefer, A. M., E. L. Jensen, G. D. Bossart, and J. S. Reif. 2014. Hair mercury concentrations and fish consumption patterns in Florida residents. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 11: 6709-6726.
- Sharma, C. M., R. Borgstrom, J. S. Huitfeldt, and B. O. Rosseland. 2008. Selective exploitation of large pike *Esox lucius*--effects on mercury concentrations in fish populations. *Sci. Total Environ.* 399: 33-40.
- Shim, S. M., L. E. Dorworth, J. A. Lasrado, and C. R. Santerre. 2004. Mercury and fatty acids in canned tuna, salmon, and mackerel. *Food Sci.* 69: C681–C684.
- Ward, D. M., K. H. Nislow, C. Y. Chen, and C. L. Folt. 2010. Rapid, efficient growth reduces mercury concentrations in stream-dwelling Atlantic salmon. *Trans. Am. Fish. Soc.* 139: 1-10.
- Watanabe, N., M. Tayama, M. Inouye, and A. Yasutake. 2012. Distribution and chemical form of mercury in commercial fish tissues. *Toxicol. Sci.* 37: 853-861.
- You, C. H., B. G. Kim, Y. M. Kim, S. A. Lee, R. B. Kim, J. W. Seo, and Y. S. Hong. 2014. Relationship between dietary mercury intake and blood mercury level in Korea. *Korean Med. Sci.* 29: 176-182.

108年 11月 5日 投稿

108年 12月 12日 接受

