

양식산 어류의 부위별 총수은 함량 및 위해도 평가

최우석 · 윤민철 · 조미라* · 권지영 · 손광태 · 김지회¹ · 이태식

국립수산과학원 식품위생가공과, ¹국립수산과학원 연구기획과

Total Mercury Content and Risk Assessment of Farmed Fish Tissues

WooSeok Choi, Minchul Yoon, MiRa Jo*, Ji Young Kwon, KwangTae Son, Ji Hoe Kim¹ and
Tae Seek Lee

Food Safety and Processing Research Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Korea

¹Research and Development Planning Department, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Korea

Total mercury (TM) is a hazardous element that is of particular concern to human health. Due to the diversity of dietary habits among fishes, tissue-specific analysis of hazardous elements is necessary. In this study, the tissue-specific TM in cultured fish was analyzed to conduct risk assessment. The highest concentrations of TM were found in the farmed marine fish *Pagrus major* (0.111 mg/kg) and in the farmed freshwater fish *Channa argus* (0.162 mg/kg). TM concentration was significantly correlated with total fish length ($P<0.01$). Significant differences in TM were found between three types of fish tissue, with the concentration in fish muscle being significantly higher than those of gill or liver ($P<0.01$). Moreover, the tissue-specific TM concentrations of farmed freshwater fish were significantly higher than those of farmed marine fish ($P<0.01$). According to the risk assessment, the TM body exposure rate of muscle and liver in cultured fishes ranged from 0.001 to 0.389% of the Provisional Tolerable Weekly Intake. Therefore, these results showing the tissue-specific TM contents of cultured fish could be useful to assess the health risks of Korean dietary habits.

Key words: Farmed fishes, Total mercury, Tissue-specific analysis, Risk assessment

서 론

수은은 지각에 자연적으로 존재하는 금속으로써 지각 및 대기활동뿐만 아니라 인간의 산업활동 등을 통해 수중에 방출된다. 이렇게 방출된 무기형태의 수은은 장기간 수중생태계에 이동·축적되며 수중 생물의 영양단계를 통해 유기형태인 메틸수은으로 전환된다. 이 메틸수은은 육식성 어류의 먹이 활동과 같은 상위영양단계를 통해 생물학적으로 농축된다. 또한 인간은 이들 어류의 섭취를 통해 메틸수은에 노출된다(UNEP, 2002). 이와 같이, 어류섭취를 통한 수은 노출의 위험성으로 인해 미국은 1990년대부터 어류의 수은 함량을 모니터링 해오고 있으며(US FDA, 2010), 유럽은 수은에 대한 기준(maximum tolerated level, ML)을 0.5 mg/kg (어류), 1.0 mg/kg (육식성어류)로 설정하여 관리하고 있다(EC, 2008). 이외의 국가로, 호주와 뉴질랜드(FSANZ, 2004)는 최대허용기준(maximum permis-

sible level, MPL)를 설정하였으며, 캐나다(Health Canada, 2007)와 일본(JETRO, 2011) 역시 가이드라인을 제시하였다.

어류와 수산물에 대한 주기적인 섭취는 메틸수은의 식이노출(dietary exposure)과 밀접한 관계가 있으며 이로 인해, EFSA(European food safety authority)는 주간허용섭취량(tolerable weekly intake)을 설정하여 소비자에게 권고하고 있다(EFSA, 2012). 최근 EFSA는 메틸수은에 대한 주간허용섭취량을 기존 1.6 $\mu\text{g}/\text{kg}$ body weight에서 약 19% 감소된 1.3 $\mu\text{g}/\text{kg}$ body weight로, 기존 총수은에 대한 주간허용섭취량(5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ body weight)을 철회하고 무기수은에 대한 주간허용섭취량을 4 $\mu\text{g}/\text{kg}$ body weight로 강화하여 제안하였다(EFSA, 2012).

수산물섭취(어류, 어류가공품, 연체류, 갑각류 등)는 다른 국가들에 비해 아시아에서 상대적으로 높으며 지속적으로 증가되어 왔다(York and Gossard, 2004). 우리나라의 1인 1년 수산물섭취량은 59.6 kg으로 일본(52.2 kg/년), 말레이시아(57.1 kg/년)

<http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2016.0007>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Korean J Fish Aquat Sci 49(1) 07-012, February 2016

Received 13 November 2015; Revised 4 January 2016; Accepted 12 January 2016

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 720. 2621 Fax: +82. 51. 720. 2619

E-mail address: mirajo@korea.kr

와 함께 상대적으로 높은 국가로 나타났다(NOAA, 2014). 또한 2012년 국민영양통계에 따르면, 어패류 섭취비율은 전체식품의 3.4%, 동물성 식품의 16.8%로 나타났다(MW, 2014). 따라서 우리나라는 수산물 섭취를 통한 유해물질의 인체 노출 평가와 위해 평가가 중요하다. 특히 어류의 경우, 식습관(Dietary-habits)의 다양성으로 인해 어류 부위별 유해물질분석과 그 결과를 바탕으로 식이노출에 의한 위해 평가가 필요하다.

이에 본 연구에서는 우리나라 양식산 어류의 부위별 총수은 함량을 분석하였으며 우리나라뿐만 아니라 외국의 허용기준과 비교하여 오염도를 평가하였다. 또한 양식 해수종과 담수종에 대한 부위별 총수은 농도 분포의 유의성을 검증하였으며 이상의 결과를 토대로 양식산 어류의 섭취를 통한 총수은의 주간추정섭취량을 산출하여 안전성 평가를 수행하였다.

재료 및 방법

시료

시료는 2014년 7월부터 8월에 걸쳐 전국 23개 시·도, 57개 양식장으로부터 총 212개 시료를 채취하여 분석에 사용했다(Fig. 1). 이물질 등의 제거를 위해 물로 3회 세척 후 체장과 무게를 측정하였다. 각 시료들은 해부용 가위와 해부용 칼을 이용하여 근육, 아가미, 간을 분리한 후 이차오염을 막기 위해 표면에 묻어있는 혈액을 제거하였으며 균질기(Plytron, PT-MR 3100D, Kinematica, Switzerland)를 이용하여 균질화 하였다. 분석 결과의 재현성을 위해 균질화시킨 시료들은 분석 전까지 -20°C 에

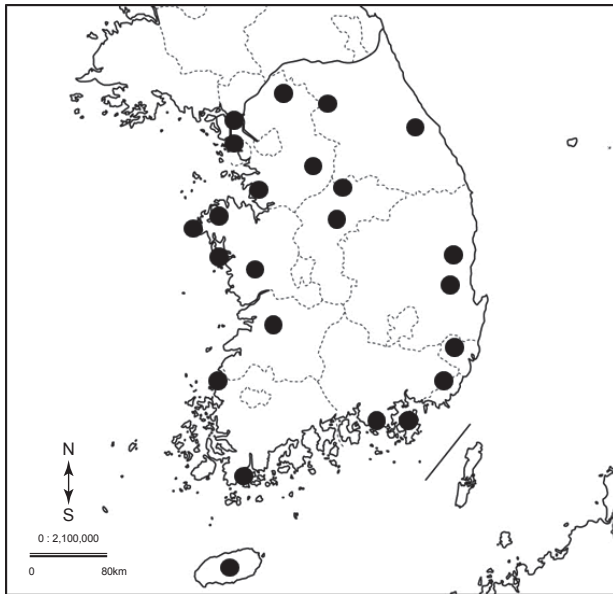


Fig. 1. Distribution of sampling site on farmed marine and freshwater fishes in Korea.

보관하였다. 시료준비에 사용된 물은 $18\text{ M}\Omega\text{cm}$ 수준의 초순수를 사용하였으며 기구 및 용기는 모두 1% (v/v) HNO_3 로 세척하여 사용하였다.

총수은 함량 분석

약 0.1 g의 균질화된 시료는 골드아말감법을 이용한 직접수은 분석기(DMA-80, Milestone, Milano, Italy)를 사용하여 3회 분석하였다. 공시료(blank), 검량표준물질(calibration standards), 그리고 인증표준물질(CRM; certified reference materials) 역시 함께 분석하였다. DORT-4 (n=30) (Dogfish Liver; NRC-CNRC, Ottawa, Ontario, Canada)와 DORM-4 (n=28) (Fish protein; NRC-CNRC, Ottawa, Ontario, Canada)는 총수은 분석의 정확성 및 재현성 확인을 위하여 사용하였다. 어류의 부위별 총수은 함량은 mg/kg, 생체중량으로 나타났다. 총수은 분석을 위한 기기조건은 건조를 650°C 에서 90초, 분해는 650°C 에서 180초, 그리고 아말감화(Amagamation)는 850°C 에서 12초로 설정하였다. 모든 결과는 Easy-DOC3프로그램(Easy-DOC3 for DMA, Ver. 3.30, Milestone, USA)을 이용하여 산출하였다.

위해도 평가

위해도 평가를 위한 양식산 어류의 총수은에 대한 주간추정섭취량(Estimated Weekly Intake)은 조사된 총수은 함량과 국민건강영양조사 제5기 3차년도 영양조사부문에 근거한 2012년 국민영양통계로부터 산출하였다(MW, 2013; MW, 2014). 이를 근거로 다음과 같은 수식을 통해 산출하였다.

Estimated Weekly Intake=

$$\frac{(\text{mean content of total mercury} \times \text{daily food intake} \times 7\text{days})}{63.5\text{ kg (adult mean body weight)}}$$

산출된 주간추정섭취량으로부터 FAO/WHO의 합동 식품 첨가물전문가위원회(JECFA)에서 설정한 무기수은 잠정주간섭취허용량(PTWI, $4\text{ }\mu\text{g/kg}$ body weight)에 대한 주간추정섭취량의 % 비율(% of PTWI)을 산출하여 위해도를 평가하였다.

통계분석

모든 결과는 평균(Mean)과 표준편차(SD)로 나타냈으며 그룹간의 유의적인 차이를 확인하기 위해 일원배치분산분석(One-way ANOVA), 독립표본 T-검정(T-test)를 수행하였다(SAS version 9.2, SAS Institute, Cary, NC, USA) ($P < 0.01$). 총수은 함량의 부위별 유의한 차이를 확인하기 위해 Duncan 검정법(Duncan's multiple-range test)으로 사후검정(Post-Hoc Test)하였다. 마지막으로 유의성을 확인하기 위해 피어슨 상관계수(Pearson correlation coefficient)를 이용한 상관분석을 수행하였다.

결과 및 고찰

양식장 어류의 부위별 총수은 농도

총수은 분석의 정확성 및 재현성 확인을 위하여, 2개의 인증표준물질(표준물질을 사용하여 회수율을 확인하였다(Table 1)). 그 결과, DOLT-4와 DORM-4의 회수율은 각각 100.9%, 99.0%로 나타났다. 어류 유래 인증표준물질(DOLT-4; Dogfish liver, DORM-4; Fish protein)의 회수율은 약 100%로 나타났으며 이 수치는 AOAC guideline 부합하는 것으로 나타났다(AOAC International, 2002). 따라서 본 연구의 분석 대상인 양식산 어류에 대한 총수은 분석 결과는 높은 신뢰성을 가질 것으로 사료된다. 전국 23개 시·도, 57개 양식장으로부터 채취된 총 212개 시료에 대한 부위별 총수은 분석 결과는 Table 2에 나타났다. 부위별 평균 총수은 함량분포는 해수종에서 근육 0.036-0.111 mg/kg (wet weight), 아가미 0.008-0.017 mg/kg, 간 0.010-0.060 mg/kg으로 나타났으며 담수종에서 근육 0.026-0.162

mg/kg, 아가미 0.004-0.039 mg/kg, 간 0.011-0.121 mg/kg으로 나타났다. 총수은 함량은 해수종 red sea bream (*Pagrus major*)의 근육에서 0.111 mg/kg, 담수종 snakehead (*Channa argus*)의 근육에서 0.162 mg/kg으로 가장 높게 나타났다($P<0.05$). 이상의 결과는 Kim et al. (2012)의 연구(양식 해수종의 총수은 함량; 0.024-0.0774 mg/kg, 양식 담수종의 총수은 함량; 0.0118-0.084 mg/kg)와 비교해 보았을 때, 해수종은 약 0.7배, 담수종은 약 2배 높은 수치이지만 우리나라 및 EU의 총수은 기준치에 비해 낮은 수치였다. 어류 내 중금속 축적은 중금속과 어류의 각 기관과 친화도가 다르기 때문에 기관별로 축적도가 다르게 나타난다(Rao and Padmaja, 2000; Bervoetset al., 2001). 본질적으로, 어류는 물속에 녹아있는 미립자의 섭취, 먹이섭취, 물속에 녹아있는 중금속의 이온교환 등을 통해 막 표면과 각 기관에 중금속을 흡수한다. 각 기관간의 중금속 분포는 먹이섭취나 수계 노출(Aqueous exposure)과 같은 노출경로에 의존적이며 중금속 오염의 지표로 사용할 수 있다(Alam et al., 2002). 따라서 어류 부위별 유해물질분석과 그 결과를 바탕으로 한 유해물질의 식이노출 평가가 필요하다. 특히 우리나라의 경우, 어류에 대한 높은 섭취율과 다양한 식습관(dietary habits)으로 인해 어류 부위별 오염 지표 연구가 중요할 예정이다. 본 연구 결과에서, 총수은의 부위별 함량을 비교해본 결과, 근육 0.067 ± 0.056 mg/kg, 아가미 0.017 ± 0.015 mg/kg, 간 0.045 ± 0.049 mg/kg으로 나타났다(Fig. 2). 어류 근육 내 총수은 함량은 다른 부위에 비해 유의적으로 높게 나타났으며 아가미에서 가장 낮은 함량을 보였다($P<0.01$). 또한 담수종과 해수종간의 부위별 총수은 함량

Table 1. Recovery of certified reference materials (CRM)

CRM	Certified value (mg/kg)	Measured value(mg/kg) ¹	Recovery (%) ²
DOLT-4	2.580±0.220	2.603±0.094	100.9
DORM-4	0.410±0.055	0.406±0.015	99.0

¹Recovery of Hg was calculated by a direct mercury analyzer. ²Recovery was calculated with mean measured values based on the replicate determination.

Table 2. Tissue-specific total mercury concentrations, length, weight for farmed marine and freshwater fishes in Korea

Common name	Scientific name	Number of Sample Site	Length (cm)	Weight (g)	Mercury concentration (mg/kg, wet weight)			
					Muscle	Gill	Liver	
Farmed Marine Fish								
Olive flounder	<i>Paralichthys olivaceus</i>	49	16	34.8±7.5	553.5±300.0	0.048±0.002 ^a	0.013±0.007 ^a	0.023±0.013 ^{ab}
Starry flounder	<i>Platichthys stellatus</i>	23	5	24.5±5.5	272.8±148.3	0.036±0.014 ^a	0.008±0.003 ^a	0.010±0.004 ^a
Korean rockfish	<i>Sebastes schlegelii</i>	18	4	20.8±0.7	170.4±14.3	0.056±0.028 ^a	0.010±0.007 ^a	0.027±0.020 ^{abc}
Red sea bream	<i>Pagrus major</i>	11	4	25.6±8.7	507.4±451.6	0.111±0.057 ^b	0.017±0.001 ^{ab}	0.060±0.038 ^{bcd}
Farmed Freshwater Fish								
Eel	<i>Anguilla Japonica</i>	39	10	48.9±7.1	285.5±102.5	0.141±0.073 ^{bc}	0.039±0.021 ^c	0.121±0.067 ^e
Korean Bullhead	<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>	25	1	16.5±0.0	44.3±0.0	0.027±0.000 ^a	0.009±0.000 ^a	0.080±0.000 ^d
Far eastern catfish	<i>Silurus asotus</i>	19	3	25.8±9.8	199.9±187.3	0.039±0.022 ^a	0.006±0.000 ^a	0.011±0.005 ^a
Trout	<i>Oncorhynchus masou</i>	16	5	34.0±7.7	628.9±312.7	0.031±0.009 ^a	0.007±0.004 ^a	0.023±0.007 ^{ab}
Rainbow trout	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	8	6	37.3±4.1	797.0±257.8	0.042±0.020 ^a	0.016±0.011 ^{ab}	0.039±0.014 ^{abc}
Israeli carp	<i>Cyprinus carpio</i>	2	1	27.0±0.0	478.3±0.0	0.049±0.000 ^a	0.007±0.000 ^a	0.020±0.000 ^a
Snakehead	<i>Canna argus</i>	1	1	45.5±0.0	950.9±0.0	0.162±0.000 ^c	0.027±0.000 ^b	0.064±0.000 ^{cd}
Nile mouth breeder	<i>Oreochromis niloticus</i>	1	1	31.0±0.0	873.4±0.0	0.026±0.000 ^a	0.004±0.000 ^a	0.029±0.000 ^{abc}

Mean: arithmetic mean, SD: standard deviation, Length: include the length of caudal fin. With the same column (a vertical column), different letters indicate significant difference ($P<0.05$).

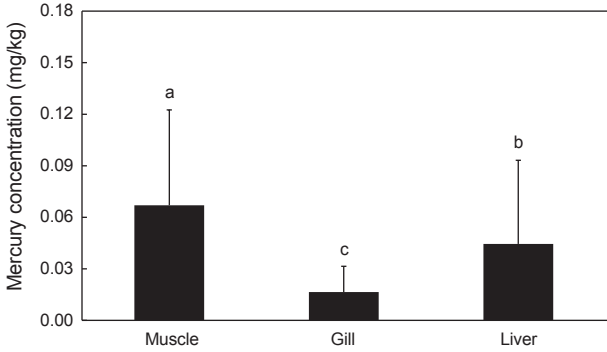
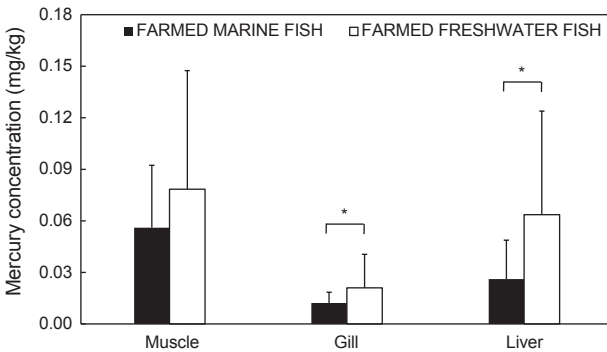


Fig. 2. Tissue-specific total mercury concentration in farmed fishes. Different letters in bar mean significantly difference at $P < 0.01$ by Duncan's multiple range test.

차이는 유사한 경향을 보였으며 담수종에서 상대적으로 높은 함량을 나타냈다($P < 0.01$) (Fig. 3). 기존연구에서, 어류 근육과 간의 다른 부위에 비해 높은 수은 축적에 관한 연구는 이미 보고된 바 있다(Voigt, 2000; Navarro et al., 2009). 이와 같은 어류 부위별 수은축적의 차이는 어류의 생리학적 차이에 의해 기인하며 특히 간의 경우, 효소반응, 단백질 생합성뿐만 아니라 해독 작용과 수은과 같은 외인성(Exogenous) 독성물질의 제거 등의 역할을 수행하기 때문에 수계노출 및 먹이섭취를 통해 흡수된 수은의 해독을 위해 간에 축적되는 것으로 사료된다(Liu et al., 2013). 또한 근육내 높은 수은 축적의 경우, 수은과 단백질 시스템인 잔기의 SH그룹과의 높은 친화도에 의한 어류근육 단백질과의 쉬운 결합에 기인한 것으로 사료된다(Farkas et al., 2003). 따라서 양식 생물의 폐쇄적 서식환경(사료, 수질, 온도, 염도 등)을 고려해보았을 때, 이와 같은 생리학적 차이가 어류 부위별 수은함량차이로 나타나는 것으로 사료된다. 일반적으로 어류의 길이, 무게 그리고 나이는 총수은 함량과 유의한 관련성을 보인다. 본 연구 결과 역시, 어류의 길이와 근육(PCC; 0.486**), 아



* Significant difference ($P < 0.05$)

Fig. 3. Tissue-specific total mercury concentration in farmed marine and freshwater fishes.

가미(PCC; 0.528**), 그리고 간(PCC; 0.548**)의 총수은 함량과 유의한 연관성을 보였다($P < 0.01$) (Fig. 4). 즉 어류성장은 수은의 생물학적 축적을 야기 한다고 할 수 있다. 하지만 사실, 수은의 생물학적 축적은 먹이사슬의 길이에 의존한다. 다시 말해 상위영양단계를 가진 육식성 어류들이 더 많은 수은을 축적하는 것이다(Łuczyńska and Brucka-Jastrzębska, 2006). 본 연구에서 육식성 어류인 snakehead (*Channa argus*)가 가장 높은 평균 총수은 함량을 나타냈지만 작은 실험 그룹($n=1$)과 양식이 라는 제한된 서식조건으로 인해 이는 의미 있는 결과로 보기 힘들다. 따라서 향후, 우리나라 어류에 대하여 총수은 함량 분석을 통한 지속적인 생물학적 축적 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

위해도 평가

비록 양식산 어류의 총수은 함량이 우리나라 및 EU의 총수은 기준치(0.5 mg/kg)에 비해 낮은 수치를 나타냈지만 잠재적인 위해도 평가를 위해 수은 주간추정섭취량을 식품첨가물전문가위원회(JECFA)에서 설정한 무기수은 잠정주간섭취허용량(PTWI)과 비교하였다. 위해도 평가를 위한 양식산 어류의(근육) 총수은 함량에 대한 주간추정섭취량(estimated weekly intake)은 국민건강영양조사 제5기 3차년도 영양조사부문에 근거한 2012년 국민영양통계 자료를 통해 산출하였다. 위해도 평가 결과, 총수은에 대한 주간추정섭취량은 trout (*Oncorhynchus masou*)이 0.00003 $\mu\text{g}/\text{kg b.w./week}$ 로 가장 낮은 수치를 보였고 eel (*Anguilla japonica*)이 0.01555 $\mu\text{g}/\text{kg b.w./week}$ 로 가장 높은 수치를 보였으며 이는 무기수은 잠정주간섭취허용량의 0.001-0.389%로 나타났다(Table 3). 따라서 본 연구에서 수행한 57개의 양식장 어류의 총수은 노출량을 통해 평가한 위해도는 높지 않은 것으로 판단된다.

이상의 결과를 요약하면, 총수은 함량은 해수종red sea bream

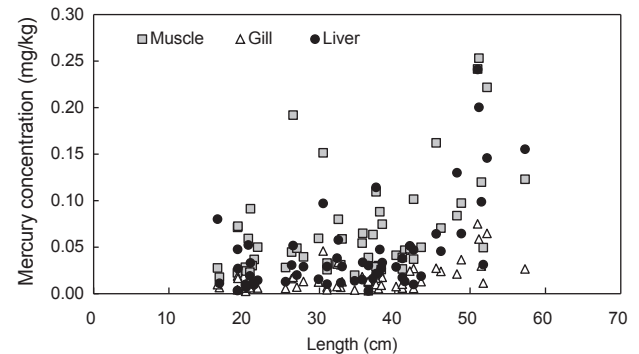


Fig. 4. Positive correlations between tissue-specific total mercury concentration and total fish length. The total fish length was significantly correlated with total mercury concentration of fish muscle (PCC; 0.486**), gill (PCC; 0.528**), and liver (PCC; 0.548**) ($P < 0.01$).

Table 3. The estimated weekly intake of farmed marine and freshwater fishes compared with the PTWI set by JECFA

Common name	Scientific name	Mercury concentration (mg/kg, wet weight)	Daily food intake ¹ (g/man/day)	Estimated weekly in take (µg/kg b.w./week)	% of PTWI ²
Farmed Marine Fish					
Olive flounder	<i>Paralichthys olivaceus</i>	0.048	0.75	0.00400	0.100
Starry flounder	<i>Platichthys stellatus</i>	0.036	0.15	0.00060	0.015
Korean rockfish	<i>Sebastes schlegelii</i>	0.056	0.52	0.00322	0.081
Red sea bream	<i>Pagrus major</i>	0.111	0.24	0.00294	0.074
Farmed Freshwater Fish					
Eel	<i>Anguilla Japonica</i>	0.141	1.00	0.01555	0.389
Far eastern catfish	<i>Silurus asotus</i>	0.039	0.18	0.00077	0.019
Trout	<i>Oncorhynchus masou</i>	0.031	0.01	0.00003	0.001
Israeli carp	<i>Cyprinus carpio</i>	0.049	0.05	0.00027	0.007

The weekly intake, Mean content of total mercury×daily food intake×7 days/63.5 kg (b.w.). ¹National Food & Nutrition Statistics: based on 2012 Korea National Health and Nutrition Examination Survey. ²The percentage of the PTWI (Inorganic mercury; 4 µg/kg b.w./week) set by JECFA.

(*Pagrus major*)의 근육에서 0.111 mg/kg, 담수종 snakehead (*Canna argus*)의 근육에서 0.162 mg/kg으로 가장 높게 나타났다. 또한 어류의 총수은 함량은 부위별로 유의하게 다른 분포를 보였다(근육>간>아가미) ($P<0.01$). 이와 같은 결과는 중금속과 어류의 각 기관간의 생리학적 친화도 차이에 의해 야기된 것으로 사료된다. 마지막으로 위해도 평가 결과, 양식어류 근육의 총수은에 대한 주간추정섭취량은 JECFA에서 설정한 무기수은 PTWI의 0.001-0.389% 수준으로 안전한 것으로 나타났다. 따라서 본 연구는 어류 부위별 유해물질분석과 그 결과를 바탕으로 한 유해물질의 식이노출 평가를 위한 중요한 정보를 제공할 수 있으며, 어류 부위별 유해물질 오염에 대한 지표 연구로 활용 가능할 것이다.

사 사

이 논문은 2015년도 국립수산물과학원 수산과학연구사업 (R2015062)의 지원으로 수행된 연구이며 연구비 지원에 감사드립니다.

References

Alam MG, Allinson G, Stagnitti F, Tanaka A and Westbrooke M. 2002. Arsenic contamination in Bangladesh groundwater: a major environmental and social disaster. *Int J Environ Health Res* 12, 235-253. <http://dx.doi.org/10.1080/0960312021000000998>.
 AOAC International. 2002. AOAC guidelines for single laboratory validation of chemical methods for dietary supplements and botanicals. Gaithersburg, MD, USA.

Bervoets L, Blust R and Verheyen R. 2001. Accumulation of metals in the tissues of three spined stickleback (*Gasterosteus aculeatus*) from natural freshwaters. *Ecotoxicol Environ Safe* 48, 117-127. <http://dx.doi.org/10.1006/eesa.2000.2010>.
 EC (European Commission). 2008. Regulation (EC) no 629/2008 of 2 July 2008 amending regulation (EC) No 1881/2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. EFSA (European Food Safety Authority). 2012. Scientific Opinion on the risk for public health related to the presence of mercury and methylmercury in food. EFSA J10, 2985.
 Farkas A, Salánki J and Specziár A. 2003. Age- and size-specific patterns of heavy metals in the organs of freshwater fish *Abramis brama* L. populating a low-contaminated site. *Water Res* 37, 959-964.
 FSANZ (Food Standards Australia and New Zealand). 2004. Mercury in fish (Australia only).
 Health Canada. 2007. Health Canada's revised assessment of mercury in fish enhances protection while reflecting advice in Canada's Food Guide.
 JETRO (Japan External Trade Organization). 2011. Specifications and Standards for Foods, Food Additives, etc. Under the Food Sanitation Act (Abstract) 2010.
 Kim CK, Lee TW, Lee KT, Lee JH and Lee CB. 2012. Nationwide monitoring of mercury in wild and farmed fish from fresh and coastal waters of Korea. *Chemosphere* 89, 1360-1368. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.05.093>.
 Liu J, Cao L, Huang W and Dou S. 2013. Species- and tissue-specific mercury bioaccumulation in five fish species from Laizhou Bay in the Bohai Sea of China. *Chin J Oceanol Limnol* 31, 504-513. <http://dx.doi.org/10.1007/s00343-013-2277-x>.

- Łuczyńska J and Brucka-Jastrzębska E. 2006. Determination of heavy metals in the muscles of some fish species from lakes in North-Eastern Poland. *Pol J Food Nutr Sci* 15, 141-146.
- MW (Ministry of Health and Welfare). 2013. Korea Health Statistics 2012: Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES V-3)
- MW (Ministry of Health and Welfare). 2014. National Food & Nutrition Statistics: based on 2012 Korea National Health and Nutrition Examination Survey.
- Navarro A, Quiros L, Casado M, Faria M, Carrasco L, Benejam L, Benito J, Diez S, Raldua D, Barata C, Bayona JM and Pina B. 2009. Physiological responses to mercury in feral carp populations inhabiting the low Ebro River (NE Spain), a historically contaminated site. *Aquat Toxicol* 93, 150-157. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquatox.2009.04.009>.
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). 2014. Fisheries of the United States 2014. (Current Fisheries statistics No. 2014; <<http://st.nmfs.noaa.gov/Assets/commercial/fus/fus14/documents/FUS%2014%FINAL.pdf>>).
- Rao LM and Padmaja G. 2000. Bioaccumulation of heavy metals in *M. cyprinoids* from the harbor waters of Visakhapatnam. *Bullet Pure Appl Sci* 19, 77-85.
- UNEP (United Nations Environment Programme). 2002. Global Mercury Assessment. UNEP Chemicals, Geneva, Switzerland.
- US FDA (United States Food and Drug Administration). 2010. Mercury levels in commercial fish and shellfish.
- Voigt HR. 2000. Heavy metal and organochlorine levels in coastal fishes from the VäikeVäin Strait, western Estonia, in high summers of 1993–94. *Proc Estonian Acad Sci Biol Ecol* 49, 335-343.
- York R and Gossard MH. 2004. Cross-national meat and fish consumption: exploring the effects of modernization and ecological context. *Ecol Econ* 48, 293-302. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2003.10.009>.