

서식지에 따른 다소비 어류의 총수은 오염 및 위해 평가

조미라 · 김기현¹ · 조문래² · 권지영 · 손광태 · 이희정 · 김지희 · 이태식 · 강상인³ · 김진수^{3*}

국립수산과학원 식품안전과, ¹대상 베스트코 식품안전실, ²해양수산부 소득복지과, ³경상대학교 해양식품생명과학과/해양산업연구소

Mercury Contamination and Risk Evaluation in Commonly Consumed Fishes as Affected by Habitat

Mi Ra Jo, Ki Hyun Kim¹, Mun Rae Jo², Ji Young Kwon, Kwang Tae Son, Hee Jung Lee, Ji Hoe Kim, Tae Seek Lee, Sang In Kang³ and Jin-Soo Kim^{3*}

Food Safety Research Division, National Fisheries Research and Development Institute, Busan 46083, Korea

¹Department of Food Safety Division, Dasang Bestco Coporation, Seoul 02154, Korea

²Income and Welfare Division, Ministry of Oceans and Fisheries, Sejong 30110, Korea

³Department of Seafood and Aquaculture Science /Institute of Marine Industry, Gyeongsang National University, Tongyeong 53063, Korea

This study investigated the concentration of total mercury in 17 species of commonly consumed fishes and assessed the risk to human health from provisional tolerable weekly intakes PTWI% as affected by migratory characterization, such as migration and vagility. The measured mean concentrations of total mercury in these 17 species of commonly consumed fishes suggest that mean concentrations of total mercury in 10 species of migratory fishes (largehead hairtail, chub mackerel, Pacific saury, skipjack tuna, Pacific cod, anchovy, Alaska pollack, brown croaker, Japanese Spanish mackerel, yellow croaker and Pacific herring) were low compared to those in 7 species of demersal fishes (red stingray, brown sole, bastard halibut, conger eel, blackmouth angler, rockfish and filefish). Based on the mean concentrations, the PTWI% of total mercury among commonly consumed migratory fishes was 3.393%, which was higher than that of commonly consumed demersal fishes (2.710%).

Key words: Mainly consumed fishes, Heavy metal, PTWI, Migratory fish, Demersal fish

서론

수산물은 예로부터 여러 가지 영양적인 요인과 건강 기능적인 요인(Boldyrev et al., 1993; Pigott GM and Tucker, 1990)이 있으며, 삼면이 바다라는 지리적 요인 등으로 인하여 우리나라에서 즐겨먹는 식품소재 중의 하나로 알려져 있다. 또한 우리나라의 1인 1일당 수산물 공급량은 일본과 포르투갈에 이어 세계 3위를 차지할 정도로 많은 편에 속한다(Food and Agriculture Organization of The United Nations Statistics Division, 2015). 한편, 최근 우리나라는 급속한 경제 발전에 따른 여러 가지 생활 오수, 산업 발전에 따른 산업 폐수, 폐기물의 대량 투기 등 뿐만 아니라 레저 문화의 한 종류인 낚시 문화와 관광 선박 등

의 성행으로 오폐수가 다량 발생하고 있다(Mok et al., 2009a). 이로 인하여 하천이나 연안 해역 등에서는 수은의 오염이 급속도로 진행되고 있다(Rashed, 2001). 그리고 육상에서 연안 수역으로 유입된 수은 등의 오염물질들은 해수보다는 해양생물의 체내에 많이 축적되는 것으로 알려져 있다. 이와 같이 생물에 농축된 수은은 먹이사슬에서 상위를 차지하는 어류에 고농도로 존재하게 되고, 사람들은 이를 섭취하여 수은에 노출되게 된다. 이러한 사실로 미루어 보아 수산물은 우리나라 국민의 영양과 건강에 대한 기여도가 높은 반면, 수은 등에 대한 노출도 또한 높으리라 추정된다.

수은은 식품에서 공통적으로 볼 수 있는 독성 물질로, 농산물, 축산물 및 수산물 등과 같은 생체 내에서 강한 결합을 한 상

<http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2015.0621>



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 48(5) 621-630, October 2015

Received 9 September 2015; Revised 3 October 2015; Accepted 4 October 2015

*Corresponding author: Tel: +82. 55. 772. 9146 Fax: +82. 772. 9149

E-mail address: jinsukim@gnu.ac.kr

태로 축적되어 있어 아주 천천히 제거되는 대표적인 유해 금속이다. 이로 인하여 수은은 장기간 노출될 경우 영구적으로 뇌, 소뇌, 척수 등의 중추신경계에 축적되어 신경세포 장애를 일으키며, 신장 손상과 임신에 나쁜 영향을 줄 수 있다(Jensen and Jernelov, 1969). 한편, 어류는 이동 정도에 따라 회유성 어류와 정착성 어류로 분류할 수 있고, 서식 수층에 따라 표층성 어류, 중층성 어류 및 저층성 어류로 나눌 수 있으며(Jeong et al., 1998), 이들 이동성과 서식 수층에 따라 먹이 생물이 달리 분포하여 어류의 수은 농축 정도도 또한 달라 질 수 있으리라 보아진다. 따라서 수산물의 수은에 대한 지속적이고 체계적인 관리를 위하여는 생산적인 단계인 전국 연안의 수산물과 수입단계의 수산물에 대한 관리, 소비적인 단계인 전국 유통 수산물에 대한 관리도 반드시 필요하겠으나, 어류의 회유성과 서식 수층에 대한 자료 조사도 필요하다.

한편, 수산물의 수은 오염 정도와 위해 평가에 관한 최근 연구로는 국내의 경우 Joo et al. (2010)의 다소비 수산식품의 총수은 및 메틸수은 모니터링, Kim et al. (2010)의 심해성 어류의 메틸수은 모니터링, Kwon et al. (2010)의 부산지역 유통 수산물의 중금속 실태 조사, Institute of Health and Environment (2010)의 강원지역 연안 수산물의 중금속 모니터링, Choi (2011)의 울산 지역 다소비 식품의 중금속 함량에 대한 연구, Choi et al. (2012)의 식품 중 수은 위해 평가, Son et al. (2012)의 유통 마른김의 중금속 함량과 위해성 평가 등이 있고, 국외의 경우 Olmedo et al. (2013)의 어류와 패류에 대한 수은의 농도 및 위해 평가, Vieira et al. (2011)의 대서양산 원양 어류(3종)의 수은에 대한 조사, Kalogeropoulos et al. (2012)의 지중해 어류와 패류의 총수은의 농도와 위해성 평가 등과 같이 다수가 있으나, 어류의 회유성과 서식 수층에 대한 자료 조사에 관한 연구는 전무한 실정이다.

본 연구에서는 국민 건강 증진을 위한 기초 자료를 확보할 목적으로 국내 다소비 어류 중 이동성과 서식 수층(중·표층 회유성 어류: 갈치, 고등어, 꽂치, 대구, 멸치, 명태, 민어, 삼치, 참조기, 청어와 같은 10종, 저층 정착성 어류: 가오리, 가자미, 넙치, 붕장어, 아귀, 조피볼락, 쥐치 등과 같은 7종)에 따라 분류하여 이들 어류의 총수은 오염도 및 위해도 평가를 실시하였다.

재료 및 방법

시료

분석 시료는 최근 5년간 국내 각 어류의 평균 섭취량을 기준으로 하여 상위 17종의 어류[멸치(*Engraulis japonicus*)5건, 명태(*Theragra chalcogramm*)1건, 민어(*Miichthys miiuy*) 15건, 고등어(*Scomber japonicus*) 21건, 삼치(*Scomberomorus nihonius*) 20건, 갈치(*Trichiurus lepturus*) 26건, 대구(*Gadus macrocephalus*) 22건, 청어(*Clupea pallasii*) 10건, 꽂치(*Cololabis saira*) 20건, 조기(*Larimichthys polyactis*) 20건, 넙치

(*Paralichthys olivaceus*) 20건, 아귀(*Lophiomus setigerus*) 21건, 가자미(*Pleuronectes herzensteini*) 21건, 붕장어(*Conger myriaster*) 20건, 쥐치(*Stephanolepis cirrhifer*) 8건, 조피볼락(*Sebastes schlegelii*) 20건, 가오리(*Dasyatis akajei*) 12건 등] 312건을 선정하였다(Food and Agriculture Organization of The United Nations Statistics Division, 2015). 시료는 계절과 지역, 생산과 서식 지역에 편중되지 않게 채취하기 위하여 겨울(10-2월), 봄(3-5월) 및 여름(6-7월)으로 나누어 실시하였다. 또한, 이들의 채취 지역은 생산, 유통, 소비 및 수입의 요충지라 할 수 있는 서울특별시, 광주광역시, 부산광역시, 울산광역시, 인천광역시, 제주특별자치도, 강원도의 강릉시, 충청남도의 보령시와 서천군, 전라북도의 군산시, 목포시 및 전주시, 전라남도의 순천시와 여수시, 경상북도의 포항시, 경상남도의 거제시, 김해시, 사천시, 창원시, 통영시, 고성군, 남해군 및 하동군 등과 같은 23개 지역으로 나누어 실시하였다. 채취한 이들 어류의 회유성(멸치, 명태, 민어, 고등어, 삼치, 갈치, 대구, 청어, 꽂치, 조기)과 저서성(넙치, 아귀, 가자미, 붕장어, 쥐치, 조피볼락, 가오리)에 따른 분류는 전문가의 도움을 받아 한국해산어류도감(Kim et al., 2001), 태평양산 원양어류도감(National Fisheries Research & Development Institute, 1999) 및 기타 자료(Jeong et al., 1998)를 참고하여 실시하였다. 이 때, 조피볼락과 같은 연안 암초성 어류는 편리상 저서성 어류로 분류하였다. 구입한 어류는 전처리 전에 초순수로 깨끗이 세척한 후 소비자가 섭취하는 형태를 기준(멸치의 경우 전 어체로 하였고, 이를 제외한 나머지 어류의 경우 근육)으로 하여 채취하고, 균질화한 다음 생물 시료를 그대로 사용하였다. 선정된 17종의 어류에 대한 영명과 학명과 같은 명칭, 시료의 구입 시 어류의 상태[저장 상태(활어/선어/동결어), 전처리 상태(round/cutted)], 이동성, 시료 건수 및 수분 함량은 Table 1과 같다.

표준인증물질 및 시약

총수은의 회수율 검증을 위하여 사용한 표준인증물질은 어류 내장의 경우 DOLT-4 (Dogfish liver certified reference material for trace metals, National Research Council, Ottawa, Ontario, Canada), 어류 가식부의 경우 DORM-4 (Fish protein certified reference material for trace metals, National Research Council, Ottawa, Ontario, Canada)와 같은 2종을 사용하였고, 이들의 수은 농도는 각각 2.58 mg/kg 및 0.410 mg/kg이었다.

총수은 분석을 위한 표준용액은 원자흡광 분석용 수은 표준용액(HgCl₂, 1,000 ppm, Sigma-Aldrich Chemical Co, St. Louis, MO)을 0.01% L-cysteine 용액과 희석하여 농도 별로 제조하여 사용하였다.

총수은의 분석 및 회수율

다소비 어류의 총수은 분석은 아무런 전처리 없이 자동수은 분석기(MA-3000, Nippon Instruments Corporation, Osaka, Japan)로 실시하였다.

총수은의 회수율은 표준인증물질을 사용하여 시료와 동일한 방법으로 분석한 다음 표준인증물질에 제시된 농도에 대하여 분석치의 상대비율(%)로 나타내었다.

총수은의 섭취량 및 위해 평가

원산지 별 다소비 시판 각 어류의 총수은에 대한 위해 평가는 잠정주간섭취허용량% (provisional tolerable weekly intake %, PTWI %)로 나타내었고, 이는 각 어류를 통한 총수은의 단위 체중 당 주간 섭취량에 대한 FAO [(Food and Agriculture Organization of the United Nations)/WHO (World Health Organization) (JECFA, 2010)]에서 설정한 PTWI (4 µg /body weight kg/week)와의 상대비율(%)을 의미한다. 여기서 각 어류를 통한 총수은의 단위 체중 당 주간 섭취량은 각 어류를 통한 총수은의 1인 1일 섭취량에 주간 또는 월간에 해당하는 일수(주간의 경우 7일, 월간의 경우 30일을 적용)를 곱하고, 국민 평균 체중[2008년 국민영양통계 국민영양조사 제4기 2차년도 영양조사부문에 근거(Korea Health Industry Development Institute, 2010)한 우리나라 국민의 평균 체중(55 kg)의 자료를 활용함]으로 나누어 산출하였다. 그리고 각 어류를 통한 총수은의 1인 1일 섭취량은 각 수산물의 1인 1일 섭취량과 측정된 각 어류의 총수은 함량을 곱하여 산출하였다(Kim, 2014).

또한, 각 어류를 통한 총수은의 1인 1일 섭취량을 산출하기 위

하여 기본 자료로 사용한 각 수산물의 1인 1일 섭취량은 2010년도 국민영양통계(Korea Health Industry Development Institute, 2012) 자료로부터 인용하여 사용하였다. 이 때 전체 어류의 1인 1일 섭취량은 37.91 g이나, 본 실험에서 시료로 사용한 다소비 어류들의 1인 1일 섭취량은 31.52 g으로 6.39 g이 부족하여 전체 어류의 총수은에 대한 PTWI %를 산출하기 곤란하다. 따라서 어류 1인 1일 섭취량에 대한 부족 어류(이하 기타 어류로 칭함)의 총수은 농도는 Kim et al. (2007)의 자료 중 본 연구에서 시료로 사용하지 않은 어류(쥐노래미, 농어, 임연수어, 도루묵, 말뚝망둥어, 풀미역치, 보리멸, 검복, 참서대, 양태, 전갱이, 전어, 정어리, 홍치, 개상어 등과 같은 15종의 어류)의 자료를 사용하여 범위, 평균, 중앙값, P75 분위 농도 및 P90 분위 농도로 산출하여 사용하였다.

통계 처리

본 실험에서 얻어진 다소비 어류의 총수은에 대한 각종 데이터 [평균값, 표준편차, 중앙값(P50 분위 농도), 3사분위수(P75 분위 농도), P90 분위 농도와 이를 토대로 산출한 위해 평가에 대한 데이터]의 산출은 엑셀(Microsoft Office Excel 2003, Redmond, WA, USA) 프로그램을 사용하였다. 여기서 P50, P75 및 P90 분위 농도는 데이터의 개수를 100개로 가정하였을 때, 각각 50번째, 75번째 및 90번째에 위치하는 데이터를 의미한다.

Table 1. English and scientific names, sampled states and parts of fishes used as samples in this experiment

Characterization	No.	Name		Sample state			Moisture content (g/100 g)
		English	Scientific	Storage state	Pretreat state	Numeral	
Migratory	1	Anchovy	<i>Engraulis japonicus</i>	Fresh	Round	15	66.5-79.3
	2	Alaska pollock	<i>Theragra chalcogramm</i>	Fresh/Frozen	Round/Cutted	21	63.5-89.5
	3	Brown croaker	<i>Miichthys miiuy</i>	Fresh/Frozen	Round/Cutted	15	64.2-79.9
	4	Chub mackerel	<i>Scomber japonicus</i>	Alive/Fresh/Frozen	Round	21	51.4-77.8
	5	Japanese Spanish mackerel	<i>Scomberomorus niphonius</i>	Fresh/Frozen	Round/Cutted	20	68.3-78.7
	6	Largehead hairtail	<i>Trichiurus lepturus</i>	Fresh/Frozen	Round/Cutted	26	68.3-80.3
	7	Pacific cod	<i>Gadus macrocephalus</i>	Fresh/Frozen	Round/Cutted	22	73.3-84.6
	8	Pacific herring	<i>Clupea pallasii</i>	Alive/Fresh/Frozen	Round/Cutted	10	66.8-81.9
	9	Pacific saury	<i>Cololabis saira</i>	Fresh/Frozen	Round	20	62.6-74.9
	10	Yellow croaker	<i>Larimichthys polyactis</i>	Fresh/Frozen	Round	20	68.3-84.4
Demersal	11	Bastard halibut	<i>Paralichthys olivaceus</i>	Alive/Fresh	Round	20	71.7-79.2
	12	Blackmouth angler	<i>Lophiomus setigerus</i>	Fresh/Frozen	Round/Cutted	21	80.0-85.6
	13	Brown sole	<i>Pleuronectes herzensteini</i>	Fresh/Frozen	Round/Cutted	21	75.2-84.4
	14	Conger eel	<i>Conger myriaster</i>	Alive/Fresh/Frozen	Round/Cutted	20	68.2-81.3
	15	Filefish	<i>Stephanolepis cirrifer</i>	Alive	Round	8	68.0-79.1
	16	Rockfish	<i>Sebastes schlegelii</i>	Alive/Fresh/Frozen	Round	20	71.7-84.0
	17	Red stingray	<i>Dasyatis akajei</i>	Fresh/Frozen	Round/Cutted	12	67.4-81.5

결과 및 고찰

총수은의 회수율

중금속 표준인증물질을 시료의 수은자동분석기로 분석한 다음 이들의 회수율로 실험의 정확도 및 정밀도를 검토한 결과는 Table 2와 같다. 표준인증물질 중 총수은 인증 농도는 DORM-4 (Fish protein)의 경우 0.410 ± 0.055 mg/kg이었고, DORT-4 (Dogfish liver)의 경우 2.58 ± 0.22 mg/kg이었다. 그리고 이를 전처리하여 수은자동분석기로 분석한 결과, 총수은 농도는 DORM-4의 경우 0.381 ± 0.001 mg/kg이었고, DORT-4의 경우 2.605 ± 0.008 mg/kg이었다. 이러한 표준인증물질의 총수은 인증농도와 분석 농도로 환산한 총수은 표준인증물질의 회수율은 DORM-4의 경우 $92.9 \pm 0.3\%$ 이었고, DORT-4의 경우 $100.9 \pm 0.3\%$ 이었다. 한편, Codex Alimentarius Commission (2008)에서는 중금속 표준인증물질에 함유되어 있는 중금속이 0.1-10 mg/kg 범위의 경우 80-110% 범위의 회수율을, 0.01 mg/kg 및 0.001 mg/kg의 경우 각각 60-115% 범위 40-120% 범위의 회수율을 요구하고 있다. 본 실험에서 중금속 표준인증물질로 확인한 총수은 회수율은 Codex Alimentarius Commission (2008)에서 제시한 범위에 있어, 본 실험에서 적용하는 기기와 전처리 방법은 적절한 것으로 판단되었다.

서식지에 따른 다소비 어류의 총수은 오염 평가

다소비 어류 17종(멸치, 명태, 민어, 고등어, 삼치, 갈치, 대구, 청어, 꽁치, 조기, 넙치, 아귀, 가자미, 붕장어, 쥐치, 조피볼락, 가오리) 312건의 총수은 함량을 측정하고, 이를 중·표층 회유성과 저층 정착성과 같은 서식 수층에 따라 분류한 다음 이들의 농도를 평균값, 중앙값, P75 분위 및 P90 분위로 살펴본 결과는 Table 3과 같다. 다소비 어류 17종 312건의 총수은 농도는 범위의 경우 ND-0.275 mg/kg, 평균의 경우 0.044 ± 0.021 mg/kg, 중앙값의 경우 0.033 mg/kg, P75 분위 농도의 경우 0.057 mg/kg, P90 분위 농도의 경우 0.083 mg/kg이었고, 312건의 어류 중 최대 농도 및 이에 해당하는 어종은 각각 0.275 mg/kg 및 명태이었다.

Table 2. Recovery ratio of total mercury using the certified reference materials

Reference	Concentration (mg/kg)		Recovery (%)
	Certified	Measured	
DORM-4 (Fish protein) ¹	0.410 ± 0.055	0.381 ± 0.001	92.9 ± 0.3
DORT-4 (Dogfish liver) ²	2.58 ± 0.22	2.605 ± 0.008	100.9 ± 0.3

¹DORM-4, Fish protein certified reference material for trace metals; ²DORT-4, Dogfish liver certified reference material for trace metals.

중·표층 회유성 다소비 어류 10종(멸치, 명태, 민어, 고등어, 삼치, 갈치, 대구, 청어, 꽁치, 조기) 190건의 총수은 농도는 범위의 경우 0.002-0.275 mg/kg, 평균의 경우 0.040 ± 0.021 mg/kg, 중앙값의 경우 0.031 mg/kg, P75 분위 농도의 경우 0.054 mg/kg, P90 분위 농도의 경우 0.068 mg/kg 이었고, 190건의 어류 중 최대 농도 및 이에 해당하는 어종은 각각 0.275 mg/kg 및 명태이었다. 어류의 총수은 평균 농도는 본 실험의 결과인 중·표층 회유성 다소비 어류 10종이 0.040 ± 0.021 mg/kg으로, 우리나라 연안산 어류 23종 742건에 대하여 조사한 Sho et al. (2000)의 0.082 mg/kg, 국내 유통 어류 9종의 총수은 농도에 관하여 연구한 Kim et al. (2003)의 0.076 mg/kg, 원산지별 수산물의 총수은 농도를 통한 안전성을 조사한 보건환경연구원(Institute of Health and Environment) (2006)의 0.066 mg/kg, 서울에 유통 중인 해산 어류의 총수은 농도를 조사한 Hwang and Park (2006)의 0.080 mg/kg, 유통 중인 어류의 총수은 농도를 모니터링한 Kim et al. (2007)의 0.075 mg/kg, 부산지역 유통 수산물의 총수은 실태를 조사한 Kwon et al. (2010)의 0.072 mg/kg, 강원지역 연안 수산물의 총수은에 대하여 모니터링한 Institute of Health and Environment (2010)의 0.067 mg/kg, 국내 시중 유통 자연산 및 양식산 활어의 총수은 농도에 관한 연구를 실시한 Mok et al. (2009b)의 0.076 mg/kg, 다소비 수산식품 중 총수은 및 메틸수은을 모니터링한 Joo et al. (2010)의 0.063 mg/kg, 식품 중 수은의 위해평가를 실시한 Choi et al. (2012)의 0.116 mg/kg, 울산 지역 다소비 식품의 총수은 농도에 대한 연구를 실시한 Choi (2011)의 0.054 mg/kg, 어류와 패류의 총수은 농도 및 위해 평가를 조사한 Olmedo et al. (2013)의 0.122 mg/kg 및 대서양에서 어획된 3종 원양 어류의 총수은 농도에 대하여 조사한 Vieira et al. (2011)의 0.095 mg/kg에 비하여는 낮았고, 서울시내 수산시장에서 유통되고 있는 수산물의 총수은 농도를 연구한 Ham (2002)의 0.018 mg/kg에 비하여 높았다. 평균 농도로 살펴본 중·표층 회유성 다소비 어류 10종 간의 총수은 함량은 대구와 명태가 각각 0.090 ± 0.068 mg/kg 및 0.052 ± 0.057 mg/kg으로 높았고, 다음으로 꽁치(0.045 ± 0.024 mg/kg) 및 삼치(0.043 ± 0.058 mg/kg) 등의 순이었다. 중앙값으로 살펴본 중·표층 회유성 다소비 어류 10종 간의 총수은 함량은 대구가 0.055 mg/kg으로 가장 높았고, 다음으로 꽁치(0.052 mg/kg), 고등어(0.040 mg/kg) 및 명태(0.040 mg/kg) 등의 순이었다. P90 분위 농도로 살펴본 중·표층 회유성 다소비 어류 10종 간의 총수은 함량은 대구가 0.163 mg/kg으로 가장 높았고, 다음으로 명태(0.080 mg/kg), 삼치(0.077 mg/kg) 및 꽁치(0.068 mg/kg) 등의 순이었다.

저층 정착성 다소비 어류 7종(넙치, 아귀, 가자미, 붕장어, 쥐치, 조피볼락, 가오리) 122건의 총수은에 대한 농도는 범위의 경우 ND-0.223 mg/kg, 평균 농도의 경우 0.051 ± 0.021 mg/kg, 중앙값의 경우 0.037 mg/kg, P75 분위 농도의 경우 0.060 mg/kg, P90 분위 농도의 경우 0.104 mg/kg 이었고, 122건의 어류

중 최대 농도 및 이에 해당하는 어종은 각각 0.223 mg/kg 및 가오리이었다. 한편, Kwon et al. (2010)의 0.072 mg/kg, Institute of Health and Environment (2010)의 0.067 mg/kg, Mok et al. (2009b)의 0.076 mg/kg, Joo et al. (2010)의 0.063 mg/kg, Choi et al. (2012)의 0.116 mg/kg에 비하여 낮았고, Ham (2002)의 0.018 mg/kg에 비하여 높았으며, Choi (2011)의 0.054 mg/kg과는 유사한 수준이었다. 평균 농도로 살펴본 저층 정착성 다소비 어류 7종 간의 총수은 함량은 가오리가 0.080 ± 0.058 mg/kg으로 가장 높았고, 다음으로 가자미(0.066 ± 0.041 mg/kg), 아귀(0.060 ± 0.041 mg/kg) 및 붕장어(0.055 ± 0.060 mg/kg) 등의 순이었다. 중앙값으로 살펴본 정착성 다소비 어류 7종 간의 총수은 함량은 가오리가 0.068 mg/kg으로 가장 높았고, 다음으로 가자미(0.053 mg/kg), 아귀(0.049 mg/kg) 및 넙치(0.030 mg/kg) 등의 순이었다. P90 분위 농도로 살펴본 정착성 다소비 어류 7종 간의 총수은 함량은 붕장어가 0.174 mg/kg으로 가장 높았고, 다음으로 가오리(0.149 mg/kg), 가자미(0.124 mg/kg) 및 조피볼락(0.099 mg/kg) 등의 순이었다.

한편, 다소비 어류의 총수은 함량은 농도 기준(평균 농도, P50 분위, P75 및 P90 분위 농도)에 관계없이 저층 정착성 어류가 중층 회유성 어류에 비하여 높은 경향을 나타내었으나, 큰 차이는 없었다. 이상에서 검토한 국내 다소비 어류 17종의 총수은 함량은 서식 수층, 농도 표기 방법(평균 농도의 경우 각각 0.040 ± 0.021 및 0.051 ± 0.021 mg/kg; 중앙값의 경우 각각 0.031 및 0.037 mg/kg; P75 분위 농도의 경우 각각 0.054 및 0.060 mg/kg; P90 분위 농도의 경우 각각 0.068 및 0.104 mg/kg)에 관계없이 모두 국내 기준 규격(0.5 mg/kg, 단, 심해성 어류, 다랑어류 및 새치류 제외)(Korea Ministry of Food and Drug Safety, 2015a)은 물론이고, 기타 외국 기준 규격(일본, 0.4 mg/kg; 호주/뉴질랜드, 일반 어류의 경우 0.5 mg/kg이고, 상어, 가오리, southern bluefin tuna의 경우 1.0 mg/kg; EU, 일반 어류의 경우 0.5 mg/kg, 가오리, 강꼬치고기, 갈치, 고등어, 넙치류, 다랑어류, 대서양메기, 대서양가자미, 뱀장어, 아귀, 은대구, 새치류, 상어류, 송어, 체장메기, 킹크랩의 경우 1.0 mg/kg) (National Food Safety Information Service, 2014)에도 적

Table 3. Total mercury concentration of mainly consumed migratory and demersal fishes

Characterization	No.	Fish	Total Hg (mg/kg, wet basis)			
			Mean (range)	P50th ²	P75th ²	P90th ²
Migratory	1	Anchovy	0.018±0.005 (0.010-0.026)	0.020	0.021	0.025
	2	Alaska pollack	0.052±0.057 (0.008-0.275)	0.040	0.055	0.080
	3	Brown croaker	0.025±0.014 (0.012-0.065)	0.020	0.024	0.041
	4	Chub mackerel	0.038±0.023 (0.002-0.090)	0.040	0.055	0.059
	5	Japanese Spanish mackerel	0.043±0.058 (0.002-0.207)	0.020	0.046	0.077
	6	Largehead hairtail	0.036±0.023 (0.005-0.091)	0.030	0.055	0.061
	7	Pacific cod	0.090±0.068 (0.022-0.227)	0.055	0.147	0.163
	8	Pacific herring	0.021±0.019 (0.002-0.051)	0.016	0.031	0.051
	9	Pacific saury	0.045±0.024 (0.009-0.093)	0.052	0.058	0.068
	10	Yellow croaker	0.028±0.021 (0.002-0.070)	0.017	0.051	0.055
		Sub-mean (range)	0.040±0.021 (0.002-0.275)	0.031 (0.016-0.055)	0.054 (0.021-0.147)	0.068 (0.025-0.163)
Demersal	11	Bastard halibut	0.038±0.023 (0.016-0.097)	0.030	0.039	0.060
	12	Blackmouth angler	0.060±0.041 (0.020-0.203)	0.049	0.077	0.093
	13	Brown sole	0.066±0.041 (0.011-0.165)	0.053	0.086	0.124
	14	Conger eel	0.055±0.060 (0.007-0.199)	0.026	0.053	0.174
	15	Filefish	0.016±0.019 (ND-0.061)	0.010	0.013	0.030
	16	Rockfish	0.041±0.034 (0.007-0.118)	0.022	0.053	0.099
	17	Red stingray	0.080±0.058 (0.023-0.223)	0.068	0.097	0.149
			Sub-mean (range)	0.051±0.021 (ND-0.223)	0.037 (0.010-0.068)	0.060 (0.013-0.097)
		Total-mean (range)	0.044±0.021 (ND-0.275)	0.033 (0.010-0.068)	0.057 (0.013-0.147)	0.083 (0.030-0.174)
		Others ¹ (range)	0.082±0.091 (0.020-0.394)	0.055	0.083	0.014

¹Data of others were calculated with the total mercury mean concentration on various fishes of Kim et al. (2007).

²P50th, 2nd quartile (the median, 50% of the data are less than or equal to this value); P75th, 3rd quartile (75% of the data are less than or equal to this value); P90th, 90% of the data are less than or equal to this value.

합한 수준이었다. 또한, 다소비 각 어류의 총수는 함량을 최대 농도 기준으로 살펴보아도 이들 기준 규격에 문제가 되는 어종은 없었다.

서식지에 따른 다소비 어류의 총수는 위해 평가

다소비 어류 17종 312건 및 이를 통한 총수은의 국민 1인 1일 섭취량($\mu\text{g}/\text{man}/\text{day}$), 단위 체중 당 주간 섭취량($\mu\text{g}/\text{body weight kg}/\text{week}$) 및 PTWI %를 평균 농도로 살펴본 결과는 Table 4와 같다. 각 어류를 통한 총수은의 1인 1일 섭취량을 산출하기 위한 기본 자료인 각 수산물의 1인 1일 섭취량은 2010년도 국민영양통계 자료로부터 인용하여 사용하였다. 즉, 2010년도 국민영양통계 자료에 의하면 우리나라 국민이 1인 1일 섭취하는 수산물의 양은 총수산물 56.82 g이고, 이는 동물성 수산물이 44.54 g, 식물성 수산물이 12.28 g으로 나누어지며, 이를 세분하면 어류가 37.91 g, 패류가 4.92 g, 갑각류가 3.99 g, 두족류가 9.26 g, 부산물이 0.53 g, 기타 수산물 0.21 g으로 이루어져

있다. 본 실험에서 시료로 검토한 다소비 어류 17종의 1인 1일 섭취량을 이들 자료를 이용하여 환산한 결과 31.52 g이었고, 이 중 회유성 어류로 분류된 10종의 어류(멸치의 경우 6.29 g, 명태의 경우 6.10 g, 민어의 경우 0.02 g, 고등어의 경우 4.81 g, 삼치의 경우 0.40 g, 갈치의 경우 1.20 g, 대구의 경우 0.67 g, 청어의 경우 0.03 g, 꽁치의 경우 1.41 g, 조기의 경우 3.65 g)이 24.58 g, 정착성 어류로 분류된 7종의 어류(넙치의 경우 1.48 g, 아귀의 경우 0.91 g, 가자미의 경우 0.69 g, 붕장어의 경우 1.52 g, 쥐치의 경우 1.08 g, 조피볼락의 경우 0.57 g, 가오리의 경우 0.69 g)이 6.94 g이었다. 따라서 전체 어류의 1인 1일 섭취량(37.91 g)에 대하여 위에서 검토한 다소비 어류 17종의 1인 1일 섭취량(31.52 g)은 83%이었고, 이 중 회유성 어류로 분류된 10종의 1인 1일 섭취량(24.58 g)이 65%를, 정착성 어류로 분류된 7종의 1인 1일 섭취량(6.94 g)이 18%를 차지하였다. 이와 같은 결과로 미루어 보아 회유성 어류와 정착성 어류가 동일 농도로 중금속 속에 오염되어 있는 경우 그 위해 정도는 회유성 어류가 크게 작

Table 4. Daily and weekly intakes and PTWI % of total mercury through mainly consumed migratory and demersal fishes based on the mean concentration

Characterization	Fish	Daily (g or $\mu\text{g}/\text{man}/\text{day}$)		Weekly ($\mu\text{g}/\text{b.w. kg}/\text{week}$)	PTWI ¹ %
		Fish	Total Hg		
Migratory	1 Anchovy	6.29	0.113	0.014	0.360
	2 Alaska pollock	6.10	0.317	0.040	1.009
	3 Brown croaker	0.02	0.001	0.0001	0.002
	4 Chub mackerel	4.81	0.183	0.023	0.582
	5 Japanese spanish mackerel	0.40	0.015	0.002	0.048
	6 Largehead hairtail	1.20	0.043	0.005	0.137
	7 Pacific cod	0.67	0.060	0.008	0.192
	8 Pacific herring	0.03	0.001	0.0001	0.002
	9 Pacific saury	1.41	0.063	0.008	0.202
	10 Yellow croaker	3.65	0.102	0.013	0.325
	Sub-total	24.58	0.001-0.317 (0.898)	trace-0.040 (0.113)	0.002-1.009 (2.859)
Demersal	1 Bastard halibut	1.48	0.056	0.007	0.179
	2 Blackmouth angler	0.91	0.055	0.007	0.174
	3 Brown sole	0.69	0.046	0.006	0.145
	4 Conger eel	1.52	0.084	0.011	0.266
	5 Filefish	1.08	0.017	0.002	0.055
	6 Rockfish	0.57	0.023	0.003	0.074
	7 Red stingray	0.69	0.002	0.0002	0.005
	Sub-total	6.94	0.002-0.084 (0.283)	trace-0.011 (0.036)	0.002-0.266 (0.898)
	Others ²	6.39	0.524	0.067	1.675
	Total	37.91	1.705	0.216	5.432

¹PTWI (4 $\mu\text{g}/\text{body weight kg}/\text{week}$) set from Joint FAO/WHO Expert committee on Food Additives (JECFA) (2010).

²Data of others were calculated based on the total mercury mean concentration on various fishes of Kim et al. (2007).

용할 것으로 판단되었다.

다소비 어류 17종 312건의 총수은 농도를 평균 농도로 적용하여 살펴본 총수은의 국민 1인 1일 섭취량은 각 어류의 경우 0.001-0.317 μg 범위, 전체 어류의 경우 1.181 μg 이었고, 단위 체중 당 주간 섭취량은 각 어류의 경우 흔적량-0.040 μg 범위, 전체 어류의 경우 0.149 μg 이었으며, PTWI %는 각 어류의 경우 0.002-1.009% 범위, 전체 어류의 경우 3.757%이었다. 한편, 다소비 어류 17종 중 총수은의 PTWI % 최대 농도 및 이에 해당하는 어종은 각각 1.009% 및 명태이었다. 다소비 어류 17종을 제외한 나머지 기타 어류의 총수은 농도를 평균 농도로 적용하여 살펴본 총수은의 국민 1인 1일 섭취량은 0.524 μg , 단위 체중 당 주간 섭취량은 0.067 μg , PTWI %는 1.675%이었다. 국민이 1인 1일 섭취하는 어류량인 37.91 g에 맞추기 위하여 다소비 어류 17종 이외에 기타 어류를 모두 고려한 어류의 총수은 농도를 평균 농도로 적용하여 살펴보고, 이들의 총수은에 대한 국민 1인 1일 섭취량은 1.705 μg , 단위 체중 당 주간 섭취량은 0.216 μg , PTWI %는 5.432%이었다.

중·표층 회유성 다소비 어류 10종 190건의 총수은 농도를 평균 농도로 적용하여 살펴본 총수은의 국민 1인 1일 섭취량은 각 어류의 경우 0.001-0.317 μg 범위, 전체 어류의 경우 0.898 μg 이었고, 단위 체중 당 주간 섭취량은 각 어류의 경우 흔적량-0.040 μg 범위, 전체 어류의 경우 0.113 μg 이었으며, PTWI %는 각 어류의 경우 0.002-1.009% 범위, 전체 어류의 경우 2.859%이었다. 중·표층 회유성 다소비 어류 10종 중 총수은의 PTWI % 최대 농도 및 이에 해당하는 어종은 각각 1.009% 및 명태이었다. 이와 같이 평균 농도 기준 중·표층 회유성 다소비 어류 10종을 통한 총수은의 PTWI %는 2.859%로, 이 농도는 우리나라 연안산 어류 23종 742건에 대하여 조사한 Sho et al. (2000)의 11%, 식품 중 수은의 위해 평가를 실시한 Choi et al. (2012)의 8.9% 및 어류와 패류의 수은 농도 및 위해 평가를 조사한 Olmedo et al. (2013)의 66.3%에 비하여는 낮았으나, 여러 가지 식품 중 중금속 함량에 관하여 연구한 Kim et al. (2003)의 1.6%, 강원지역 연안 수산물의 중금속에 대하여 모니터링한 Institute of Health and Environment (2010)의 1.46%에 비하여는 높았다. 이와 같이 중·표층 회유성 다소비 어류 10종을 통한 총수은의 PTWI %가 위에서 언급한 다른 연구자들의 결과와 다소 차이가 있는 것은 중·표층 회유성 다소비 어류의 오염 정도뿐만 아니라, 검토에 고려된 시료의 수와 종류가 많이 차이가 있었기 때문이라 판단되었다.

저층 정착성 다소비 어류 7종 122건의 총수은 농도를 평균 농도로 적용하여 살펴본 총수은의 국민 1인 1일 섭취량은 각 어류의 경우 0.002-0.084 μg 범위, 전체 어류의 경우 0.283 μg 이었고, 단위 체중 당 주간 섭취량은 각 어류의 경우 흔적량-0.011 μg 범위, 전체 어류의 경우 0.036 μg 이었으며, PTWI %는 각 어류의 경우 0.005-0.266% 범위, 전체 어류의 경우 0.898%이었다. 저층 정착성 다소비 어류 7종 중 총수은의 PTWI % 최대

농도 및 이에 해당하는 어종은 각각 0.266% 및 붕장어이었다. 평균 농도로 검토한 저층 정착성 다소비 어류 7종을 통한 총수은의 PTWI %는 0.898%이었는데, 이 농도는 Sho et al. (2000)의 11%와 National Institute of Food and Drug Safety Evaluation (2010), Choi et al. (2012)의 8.9% 및 Olmedo et al. (2013)의 66.3%, Kim et al. (2003)의 1.6%, Institute of Health and Environment (2010)의 1.46%와 같은 모든 자료에 비하여 낮았다. 한편, EFSA (2004)은 수은의 주간섭취량 범위를 1.3-92.0 $\mu\text{g}/\text{week}$ 라고 보고한 바 있다.

다소비 어류 17종 312건 및 이를 통한 총수은의 국민 1인 1일 섭취량($\mu\text{g}/\text{man}/\text{day}$), 단위 체중 당 주간 섭취량($\mu\text{g}/\text{body weight kg}/\text{week}$) 및 PTWI %를 P90 분위 농도로 살펴본 결과는 Table 5와 같다. 다소비 어류 17종 312건의 총수은 농도를 P90 분위 농도로 적용하여 살펴본 총수은의 국민 1인 1일 섭취량은 각 어류의 경우 0.001-0.488 μg 범위, 전체 어류의 경우 2.054 μg 이었고, 단위 체중 당 주간 섭취량은 각 어류의 경우 흔적량-0.062 μg 범위, 전체 어류의 경우 0.260 μg 이었으며, PTWI %는 각 어류의 경우 0.003-1.553% 범위, 전체 어류의 경우 6.538%이었다. 한편, 다소비 어류 17종 중 총수은의 PTWI % 최대 농도 및 이에 해당하는 어종은 각각 1.553% 및 명태이었다.

다소비 어류 17종을 제외한 나머지 기타 어류의 총수은 농도를 평균 농도로 적용하여 살펴본 총수은의 국민 1인 1일 섭취량은 0.728 μg , 단위 체중 당 주간 섭취량은 0.093 μg , PTWI %는 2.325%이었다. 국민이 1인 1일 섭취하는 어류량인 37.91 g에 맞추기 위하여 다소비 어류 17종 이외에 기타 어류를 모두 고려한 어류의 총수은 농도를 평균 농도로 적용하여 살펴보고, 이들의 총수은에 대한 국민 1인 1일 섭취량은 2.782 μg , 단위 체중 당 주간 섭취량은 0.353 μg , PTWI %는 8.863%이었다.

중·표층 회유성 다소비 어류 10종 190건의 총수은 농도를 P90 분위 농도로 적용하여 살펴본 총수은의 국민 1인 1일 섭취량은 각 어류의 경우 0.001-0.488 μg 범위, 전체 어류의 경우 1.438 μg 이었고, 단위 체중 당 주간 섭취량은 각 어류의 경우 흔적량-0.062 μg , 전체 어류의 경우 0.182 μg 이었으며, PTWI %는 각 어류의 경우 0.003-1.553%, 전체 어류의 경우 4.574%이었다. 한편, 중·표층 회유성 다소비 어류 10종 중 총수은의 PTWI % 최대 농도 및 이에 해당하는 어종은 각각 1.553% 및 명태이었다. P90 분위 농도 기준으로 하였을 때 중·표층 회유성 다소비 어류 10종을 통한 총수은의 PTWI %는 4.574%이었는데, 이 농도는 Sho et al. (2000)의 11%와 National Institute of Food and Drug Safety Evaluation (2010)과 Choi et al. (2012)의 8.9% 및 Olmedo et al. (2013)의 66.3%에 비하여는 낮았으나, Kim et al. (2003)의 1.6%, Institute of Health and Environment (2010)의 1.46%에 비하여는 높았다.

저층 정착성 다소비 어류 7종 122건의 총수은 농도를 P90 분위 농도로 적용하여 살펴본 총수은의 국민 1인 1일 섭취량은 각

Table 5. Daily and weekly intakes and PTWI % of total mercury through mainly consumed migratory and demersal fishes based on the P90th concentration

Characterization	Fish	Daily (g or µg/man/day)		Weekly (µg/b.w. kg/week)	PTWI ¹ %
		Fish	Total Hg		
Migratory	1 Anchovy	6.29	0.157	0.020	0.500
	2 Alaska pollock	6.10	0.488	0.062	1.553
	3 Brown croaker	0.02	0.001	0.0001	0.003
	4 Chub mackerel	4.81	0.284	0.036	0.903
	5 Japanese spanish mackerel	0.40	0.027	0.003	0.086
	6 Largehead hairtail	1.20	0.073	0.009	0.233
	7 Pacific cod	0.67	0.109	0.014	0.347
	8 Pacific herring	0.03	0.002	0.0002	0.005
	9 Pacific saury	1.41	0.096	0.012	0.305
	10 Yellow croaker	3.65	0.201	0.026	0.639
	Sub-total	24.58	0.001-0.488 (1.438)	trace-0.062 (0.182)	0.003-1.553 (4.574)
Demersal	1 Bastard halibut	1.48	0.089	0.011	0.283
	2 Blackmouth angler	0.91	0.086	0.011	0.275
	3 Brown sole	0.69	0.086	0.011	0.272
	4 Conger eel	1.52	0.264	0.034	0.842
	5 Filefish	1.08	0.032	0.004	0.103
	6 Rockfish	0.57	0.056	0.007	0.180
	7 Red stingray	0.69	0.003	0.0004	0.009
	Sub-total	6.94	0.003-0.264 (0.616)	trace-0.034 (0.078)	0.009-0.842 (1.964)
	Others ²	6.39	0.728	0.093	2.325
	Total	37.91	2.782	0.353	8.863

¹PTWI (4 µg/body weight kg/week) set from Joint FAO/WHO Expert committee on Food Additives (JECFA) (2010).

²Data of others were calculated based on the total mercury mean concentration on various fishes of Kim et al. (2007).

어류의 경우 0.003-0.264 µg, 전체 어류의 경우 0.616 µg 이었고, 단위 체중 당 주간 섭취량은 각 어류의 경우 흔적량-0.034 µg, 전체 어류의 경우 0.078 µg 이었으며, PTWI %는 각 어류의 경우 0.009-0.842%, 전체 비율은 1.964%이었다. 저층 정착성 다소비 어류 7종을 통한 총수은의 PTWI %를 P90 분위 농도 기준으로 하였을 때 최대 농도 및 이에 해당하는 어종은 평균 농도 기준으로 하였을 때와 같이 각각 0.842% 및 붕장어이었다. 저층 정착성 다소비 어류 7종을 통한 총수은의 PTWI %는 평균 농도 기준으로 1.964%이었는데, 이 농도는 Olmedo et al. (2013)의 66.3%, Sho et al. (2000)의 11%, National Institute of Food and Drug Safety Evaluation (2010)과 Choi et al. (2012)의 8.9%에 비하여 낮았고, Kim et al. (2003)의 1.6%, Institute of Health and Environment (2010)의 1.46%에 비하여는 높았다.

서식지에 따른 전체 다소비 어류를 통한 총수은의 오염

도 및 위해는 국민 1인 1일 섭취량, 단위 체중 당 주간 섭취량 및 PTWI %는 농도 기준(평균 농도와 P90 가오리)이었다. 어류의 총수은 평균 농도는 본 실험의 결과인 저층 정착성 다소비 어류 7종 122건의 총수은 농도는 ND-0.223 mg/kg (평균 0.051 ± 0.021 mg/kg)으로, Sho et al. (2000)의 0.082 mg/kg, Kim et al. (2003)의 0.076 mg/kg, 보건환경연구원(Institute of Health and Environment) (2006)의 0.066 mg/kg, Hwang and Park (2006)의 0.080 mg/kg, Kim et al. (2007)의 분위 농도에 관계없이 모두 중·표층 회유성 어류가 저층 정착성 어류에 비하여 높았고, 이로 인하여 위해가 크리라 판단되었다.

사 사

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

References

- Boldyrev AA, Koldobski A, Kurella E, Maltseva V and Stvo-linski S. 1993. Natural histidine-containing dipeptide carnosine as a potent hydrophilic antioxidant with membrane stabilizing function a biomedical aspect. *Mol Chem Neuro-pathol* 19, 185-192.
- Choi EH. 2011. A study on heavy metal contents in various foods consumed in Ulsan. MS thesis, Ulsan University, Ulsan, Korea.
- Choi H, Park SK and Kim MH. 2012. Risk assessment of mercury through food intake for Korean population. *Korean J Food Sci Technol* 44, 106-113.
- Codex Alimentarius Commission. 2008. Report of Thirty-first Session, ALINORM 08/31/REP. Geneva, Switzerland. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/011/i0420e/i0420e00.htm> on August 20.
- EFSA. 2004. European Food Safety Authority. Opinion of the Scientific Panel on Contaminants in the Food Chain on a request from the Commission related to mercury and methylmercury in food. *The EFSA Journal*, 34, 1-14.
- Food and Agriculture Organization of The United Nations Statistics Division (FAOSTAT). 2015. Food Supply. Retrieved from http://faostat3.fao.org/browse/FB/*/E on August 20.
- Ham HJ. 2002. Distribution of hazardous heavy metals (Hg, Cd and Pb) in fishery products, sold at great wholesale markets in Seoul. *J Food Hyg Safety* 17, 146-151.
- Hwang YO and Park SG. 2006. Contents of heavy metals in marine fishes, sold in Seoul. *Analytical Sci Technol* 19, 342-351.
- Institute of Health and Environment. 2006. Aquatic food safety research. *Institute of Health and Environment Report* 15, 75-77.
- Institute of Health and Environment. 2010. Heavy metal monitoring on aquatic products from the East-coast in Gangwon province. *Institute of Health and Environment Report*, 1-79.
- Jeong BY, Choi BD and Lee JS. 1998. Proximate composition, cholesterol and α -tocopherol content in 72 species of Korean fish. *J Korean Fish Soc* 31, 160-167.
- Jensen S and Jemelov A. 1969. Biological methylation of mercury in aquatic organisms. *Nature* 223, 753-754.
- Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). 2010. Safety evaluation of certain food additives. *WHO Food Additives Series*, 62. World Health Organization, Geneva, Swiss, 1-284.
- Joo HJ, Noh MJ, Yoo JH, Jang YM, Park JS, Kang MH and Kim MH. 2010. Monitoring total mercury and methylmercury in mainly consumed aquatic foods. *Korean J Food Sci Technol* 42, 269-276.
- Kalogeropoulos N, Karavoltos S, Sakellari A, Avramidou S, Dassenakis M and Scoullou M. 2012. Heavy metals in raw, fried and grilled Mediterranean finfish and shellfish. *Food Chem Toxicol* 50, 3702-3708. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2012.07.012>.
- Kim HY, Kim JC, Kim SY, Lee JH, Jang YM, Lee MS, Park JS and Lee KH. 2007. Monitoring of heavy in fishes in Korea - As, Cd, Cu, Pb, Mn, Zn, total Hg. *Korean J Food Sci Technol* 39, 353-359.
- Kim KH. 2014. Concentration and Risk Assessment of Heavy Metal in Mainly Consumed Fishes. MS thesis, Gyeongsang National University, Tongyeong, Korea.
- Kim MH, Kim JS, Sho YS, Chung SY and Lee JO. 2003. The study on heavy metal contents in various foods. *Korean J Food Sci Technol* 35, 561-567.
- Kim SC, Jang JW, Kim HA, Lee SH, Jung YG, Kim JY, Ahn JH, Park EH, Ko YS, Kim DS, Kim SY, Jang YM and Kang CS. 2010. Monitoring methylmercury in abyssal fish. *Korean J Food Sci Technol* 42, 383-389.
- Kim YU, Myeong JG, Kim YS, Han KH, Kang CB and Kim JG. 2001. *The Marine Fishes of Korea*. Hanguel Graphic Co., Seoul, Korea.
- Korea Health Industry Development Institute. 2010. In depth Analysis on the 4th 2008 Korea National Health & Nutrition Examination Survey, Nutrition Survey. Retrieved from <https://knhanes.cdc.go.kr/knhanes/index.do> on October 2.
- Korea Health Industry Development Institute. 2012. In depth Analysis on the 5th 2010 Korea National Health & Nutrition Examination Survey, Nutrition Survey. Retrieved from <https://www.khidi.or.kr/board/view?pageNum=1&rowCnt=10&no1=17&linkId=100676&menuId=MENU00085&maxIndex=00001007099998&minIndex=00001000869998&schType=1&schText=2010&boardStyle=&categoryId=&continent=&country=> on August 22.
- National Food Safety Information Service (NFSI). 2014. Heavy metal standards of foreign countries food. NFSI, Seoul, Korea. Retrieved from https://www.foodinfo.or.kr/BULLETIN_A.do?am=BOARD_LIST&boardCd=B53# on October 2.
- Korea Ministry of Food and Drug Safety (KMFDS). 2015a. 2015 Korean Food code. KMFDS, Cheongju, Korea. Retrieved from http://fse.foodnara.go.kr/residue/RS/jsp/menu_02_01_03.jsp?idx=12 on August 20.
- Kwon HD, Kim BJ, Park SH, Lee JY, Park SH, Park MJ and Lee MO. 2010. Research on the harmful heavy metals of seafood in the Busan area. *The Annual Report of Busan Metropolitan City Institute of Health and Environment* 20, 44-52.
- Mok JS, Shim KB, Cho MR, Lee TS and Kim JH. 2009a. Contents of heavy metals in fishes from the Korean coasts. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 42, 517-524. <http://dx.doi.org/10.3746/jkfn.2009.38.4.517>.
- Mok JS, Shim KB, Lee TS, Song KC, Lee KJ, Kim SG and Kim JH. 2009b. Heavy metal contents in wild and cultured fishes from the Korean coasts. *Korean J Fish Aquat Sci* 42, 561-568. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2009.0561>.

- National Fisheries Research & Development Institute (NFRDI). 1999. Fishes of the Pacific Ocean. Hanguel Graphic Co., Seoul, Korea.
- National Institute of Food and Drug Safety Evaluation. 2010. Human risk assessment of heavy metal in food for safety management systems. Retrieved from <http://rnd.mfds.go.kr/>. on August 20.
- Olmedo P, Pla A, Hernandez AF, Barbier F, Ayouni L and Gil F. 2013. Determination of toxic elements (mercury, cadmium, lead, tin and arsenic) in fish and shellfish samples. Risk assessment for the consumers. *Environment International*, 59, 63-72. <http://dx.doi.10.1016/j.envint.2013.05.005>.
- Pigott GM and Tucker BW. 1990. Seafood-Effects of Technology on Nutrition. Marcel Dekker, Inc., New York and Basel, USA, 32-63.
- Rashed MN. 2001. Monitoring of environmental heavy metals in fish from Nasser Lake. *Environ Int* 27, 27-33.
- Sho YS, Kim JS, Chung SY, Kim MH and Hong MK. 2000. Trace metal contents in fishes and shellfishes and their safety evaluations. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 29, 549-554.
- Son KT, Kwon JY, Jo MR, Choi WS, Kang SR, Ha NY, Shin JW, Park K and Kim JH. 2012. Heavy metals (Hg, Pb, Cd) content and risk assessment of commercial dried laver *Porphyra* sp. *Korean J Fish Aquat Sci* 45, 454-459. <http://dx.doi.10.5657/KFAS.2012.0454>.
- Vieira C, Morais S, Ramos S, Delerue-Matos C and Oliveira MBPP. 2011. Mercury, cadmium, lead and arsenic levels in three pelagic fish species from the Atlantic Ocean: Intra- and inter-specific variability and human health risks for consumption. *Food Chem Toxicol* 49, 923-932. <http://dx.doi.10.1016/j.fct.2010.12.016>.