

가리비(*Patinopecten yessoensis*) 및 키조개(*Atrina pectinata*)의 부위별 중금속 함량 및 위해도 평가

최우석 · 윤민철 · 조미라 · 권지영 · 김지회¹ · 이희정 · 김풍호*

국립수산물연구원 식품위생가공과, ¹국립수산물연구원 연구기획과

Heavy Metal Contents in Internal Organs and Tissues of Scallops *Patinopecten yessoensis* and Comb Pen Shell *Atrina pectinata*

Woo Seok Choi, Minchul Yoon, Mi Ra Jo, Ji Young Kwon, Ji Hoe Kim¹, Hee jeung Lee and
Poong Ho Kim*

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

Recent years have seen steadily increasing concerns about human exposure to heavy metals through seafood consumption. In Korea, the diverse dietary patterns of different bivalve shellfish necessitate tissue-specific evaluation of heavy metal contents for risk assessment. We analyzed the heavy metal contents of various tissues in scallops (*Patinopecten yessoensis*) and pen shells (*Atrina pectinata*). In both species, we found higher levels of cadmium (Cd) in the mantle than in the adductive muscle, while there was no significant difference between the two tissue types in total mercury (THg) and lead (Pb) ($P < 0.05$). Levels of THg and Pb were acceptable by Korean standards. However, the level of Cd in pen shell mantle tissue exceeded the standard by 40%. The rate of heavy metal exposure from consumption of these species was shown to be 0.003-0.010% of the provisional tolerable weekly intake of THg and 0.312-0.600% of the provisional tolerable monthly intake (PTWI) of Cd as recommended by the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. These findings on the tissue-specific heavy metal contents of these species will be useful in assessing the health risks of Korean dietary habits.

Key words: Bivalve, Heavy metal, Adductive muscle, Mantle, Risk assessment

서 론

패류는 정착성 생물이며, 여과섭취를 통하여 주위의 해수 중에 부유하는 각종 유, 무기물을 섭취하고 있으며 이 과정에서 해수 중의 현탁물과 함께 중금속도 흡수 축적하는 것으로 알려져 있다(Kamimura, 1980). 중금속 중 미량일지라도 인체에 해로운 영향을 미치는 수은, 납 카드뮴 등은 생물체 본래의 구성 성분이 아니고 동식물의 생육 과정이나 식품의 가공, 저장 중에 외부에서 오염되어 들어가는 이른바 환경 오염성 유해금속으로서 비교적 독성이 강하기 때문에 식품안전성에 관심이 쏠리고 있다(Philip, 1995). 이 중 일부 유해 중금속은 강한 축적성으로 인하여 생체 내 미량이라도 들어오게 되면 모든 조직에 생리적, 기능적, 형태적 또는 그 밖의 여러 장애를 일으켜 피해를 입힐

수 있다. 이와 같은 중금속의 높은 위해성으로 인해, 근대 산업 사회의 부산물인 이들은 미량일지라도 사회의 큰 관심사로 대두되고 있으며 심각한 사회문제가 되고 있다(Kim et al., 1991).

이때패류의 소화기관은 많은 연구자들에 의해 카드뮴 축적의 주요 조직으로 보고 되고 있다(Irato et al., 2003; Saavedra et al., 2008; Herve-Fernandez et al., 2010; Husmann et al., 2012). 카드뮴 축적을 위한 표적 장기는 종내 및 환경 오염 상태에 따라 다양해 보이며, 소화관은 주로 카드뮴 축적을 위한 주요 표적 기관으로 알려져 왔다(Carmichael and Fowler, 1981; Viarengo, 1993; Kruzynski, 2004; Bustamante and Miramand, 2004; 2005; Metian et al., 2007; 2008; Julshamn et al., 2008; He and Wang, 2013; Saavedra et al., 2014).

최근 수산물에 대한 소비량은 어패류 및 해조류 모두 급격히

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2017.0487>



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 50(5) 487-493, October 2017

Received 18 September 2017; Revised 29 September 2017; Accepted 17 October 2017

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 720. 2620 Fax: +82. 51. 720. 2619

E-mail address: phkim1@korea.kr

증가하고 있는 추세이며, 우리나라는 일본과 더불어 전 세계적으로 수산물의 소비량이 많은 나라이다. 국민소득 수준의 향상 및 LOHAS 등의 열풍으로 건강에 대한 관심도가 증가됨에 따라 구제역, 조류독감 등의 축산물을 통한 단백질 섭취보다는 건강식으로 인식되는 수산물을 통한 단백질 섭취가 늘어나고 있는 추세이다(Kim et al., 2007). 수산물섭취(어류, 어류가공품, 연체류, 갑각류 등)는 다른 국가들에 비해 아시아 국가들이 상대적으로 높으며 지속적으로 증가되어 왔다(York and Gosard, 2004). 우리나라의 1인 1년 수산물섭취량은 58.4 kg/년으로 노르웨이 53.3 kg/년, 일본 50.2 kg/년, 중국 39.5 kg/년과 함께 상대적으로 높은 국가로 나타났다(FAO, 2016). 따라서 우리나라는 수산물 섭취를 통한 유해물질의 인체 노출 평가와 위해 평가가 중요하다. 특히 수산물에는 인체에 필요한 단백질 이외에도 지방, 미네랄 등의 영양성분 및 기능성 물질들이 다량 함유된 것으로 알려지고 있다(Jeong et al., 1999, Mok et al., 2007).

하천이나 해수에 유입된 오염물질은 희석, 확산, 분해 등으로 점차 감소되지만 이와는 반대로 식품 또는 어패류에 있어서는 먹이연쇄 과정을 통하여 체내에 생물농축이 되고 있어, 오염의 상태가 인체에까지 위해를 미치므로 국민보건상 사회적 문제가 되고 있는 실정이다(Sung et al. 1993).

한국인의 높은 패류 섭취율에 따른 중금속의 노출 우려는 지속적으로 증가하고 있으며, 특히 대형 이매패류는 식이패턴이 다양하기 때문에 정확한 중금속 노출평가를 위해서는 패류의 부위별 중금속 함량 분석이 필요하다.

본 연구에서 대형 이매패류인 가리비 및 키조개의 부위별 카드뮴, 납, 총수은 함량을 분석하여 중금속 실태를 조사하였고, 그 결과와 섭취량을 통하여 일일 허용기준치를 산출 후 잠정주간섭취허용량(provisional tolerable weekly intake, PTWI)과 잠정월간섭취허용량(provisional tolerable monthly intake, PTMI)을 비교하여 중금속에 대한 안전성 평가를 비교 분석하고자 하였다. 따라서 본 연구에서 제시하는 대형 이매패류의 부위별 중금속 함량결과는 한국인의 패류 식품관에 따른 건강 위험도 평가를 위한 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

재료 및 방법

시료

패류 부위별 중금속 위해평가를 위하여 2012년부터 2016년까지 국내 유통되고 있는 대형 이매패류 중 가리비(*scallops Patinopecten yessoensis*), 키조개(comb pen shell *Atrina pectinata*)를 구입하여 실험에 사용하였다. 가리비와 키조개 모두 외투막, 폐각근, 외투막과 폐각근을 포함한 가식부 전체로 나누어 검사를 하였다. 시료 전처리에 사용된 시약은 질산(HNO_3 , suprapur 65%, Merck, Germany)이었으며, 이물질 등의 제거를 위해 물로 3회 세척 후 무게를 측정하였다. 각 시료들은 해부용 가위와 해부용 칼을 이용하여 외투막, 폐각근을 분리한 후 균질기

(Plytron, PT-MR 3100D, Kinematica, Switzerland)를 이용하여 균질화 하였다. 분석 결과의 재현성을 위해 균질화시킨 시료들은 분석 전까지 -20°C 에 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. 회수율 시험을 위해 공시료(Blank), 검량표준물질(Calibration standards), 그리고 인증표준물질 (certified reference materials, CRM) DORM-4 (Fish protein; NRC-CNRC, Ottawa, Ontario, Canada), 1566b (Oyster; NIST, Gaithersburg, USA, MD)를 이용하였다.

중금속 분석

수은은 자동수은분석기(Automatic Mercury analyzer, Model IT/DMA-80, Milestone S&T, Italy)를 사용하여 골드아말감법(Combustion gold amalgamation method)으로 3회 분석하였다. 공시료(Blank), 검량표준물질(Calibration standards), 그리고 인증표준물질 역시 함께 분석하였다. 수은분석을 위한 검량선은 인증표준물질로 MESS-3 (National Research Council, Nova Scotia, Canada)를 사용하였으며, 회수율은 DORM-4와 1566b는 총수은 분석의 정확성 및 재현성 확인을 위하여 사용하였다. 가리비 및 키조개의 부위별 총수은 함량은 mg/kg, 생체중량으로 나타났다. 수은 분석에 사용되는 니켈 boat는 종류

Table 1. Operating conditions for a mercury analyzer

Parameter	Analysis condition
Drying temperature ($^\circ\text{C}$)	650
Drying time (sec)	90
Decomposition temperature ($^\circ\text{C}$)	650
Decomposition time (sec)	180
Purge time (sec)	60
Amalgamator heating temperature ($^\circ\text{C}$)	850
Amalgame time (sec)	12
Recording time (sec)	30

Table 2. Operating conditions of an ICP-MS

Parameter	Analysis condition
RF power	1400 Watts
Lens voltage	8.0 V
Nebulizer gas flow (Ar)	0.97 L/min
Plasma gas flow (Ar)	15 L/min
Auxiliary gas flow (Ar)	1.275 L/min
Dwell time	50 ms
Scanning mode	Peek hop
Number of replicate	3
Detector	Dual
Analytical elements	Pb (207.98), Cd (110.9)

수를 이용하여 초음파 세척 후 빈 boat의 height가 0.000-0.003 g 이하가 될 때까지 공시험 후 시료분석에 사용하였다. 균질화된 시료 약 0.1 g을 취하여 전처리 없이 곧바로 수은분석기를 이용하여 분석하였으며 총수은 분석을 위한 기기조건은 건조를 650°C에서 90초, 분해는 650°C에서 180초, 그리고 아말감화(Amagamation)는 850°C에서 12초로 설정하였다(Table 1). 모든 결과는 Easy-DOC3프로그램(Easy-DOC3 for DMA, Ver. 3.30, Milestone, USA)을 이용하여 산출하였다. 납과 카드뮴 분석을 위한 전처리는 식품공전에 따라 습식분해법을 사용하였다. 즉 균질화한 마른 시료 1 g을 테프론 튜브에 넣고 65% nitric acid 10 mL을 첨가하여 상온에서 150분간 반응시킨 후 80°C에서 400분간 가열분해하였다. 가열분해한 시험용액의 nitric acid는 완전히 휘발시키고, 2% nitric acid로 재용해하여 여과한 다음 100 mL로 정용하여 실험에 사용하였다. 납 및 카드뮴은 유도결합플라즈마 질량분석기(ICP-MS, Perkin Elan DRC

II, Waltham, USA, MA)로 분석하였는데, 이때 ICP-MS의 기기분석 조건은 Table 2에 나타내었다. 납 및 카드뮴 분석을 위한 검량선은 1,000 mg/kg의 표준용액을 1, 5, 10, 25, 50 µg/kg로 희석하여 사용하였으며, 납, 카드뮴의 회수율은 수은과 동일한 CRM인 DORM-4와 1566b를 사용하여 측정하였다.

위해도 평가

국내산 가리비 및 키조개에 대한 위해도 평가는 수은 및 카드뮴에 대한 주간, 월간추정섭취량(estimated weekly intake, EWI)을 조사된 총수은, 카드뮴 함량과 국민건강영양조사 제5기 3차년도 영양조사부문에 근거한 2012년 국민영양통계로부터 산출하였다(MW, 2014). 산출된 주간, 월간추정섭취량으로부터 FAO/WHO의 합동 식품 첨가물전문가위원회(JECFA)에서 설정한 무기수은 잠정주간섭취허용량(provisional tolerable weekly intake, PTWI)과 카드뮴 잠정월간섭취허용량(provisional tolerable monthly intake, PTMI)에 대한 주간추정섭취량의 % 비

Table 3. Recovery of certified reference materials (CRM)

CRM	Analyte	Certified value (mg/kg)	Measured value ¹ (mg/kg)	Recovery (%) ²
DORM-4	Hg	0.410±0.055	0.377±0.006	91.9
	Pb	0.416±0.053	0.376±0.085	90.3
	Cd	0.306±0.015	0.263±0.026	86.1
1566b	Hg	0.0371±0.0013	0.031±0.003	84.8
	Pb	0.308±0.009	0.326±0.064	105.8
	Cd	2.48±0.08	2.55±0.27	103.0

¹Recovery of Hg, Pb, Cd was calculated by a mercury, Lead, Cadmium analyzer. ²Recovery was calculated with mean measured values based on the replicate determination.

Table 4. Tissue-specific heavy metal concentration in Scallop *Patinopecten yessoensis* and Pen Shell *Atrina pectinate*

Common name	Scientific name	Concentration ¹ (mg/kg, wet weight)		
		Hg	Pb	Cd
Scallop	<i>Patinopecten yessoensis</i>			
Adductor Muscle		0.008±0.002 (0.004-0.010) ^a	0.021±0.002 (0.003-0.095) ^a	0.301±0.181 (0.102-0.782) ^a
Mantle		0.008±0.003 (0.003-0.018) ^a	0.034±0.026 (0.002-0.101) ^b	0.731±0.390 (0.175-1.414) ^b
Adductor Muscle +Mantle		0.008±0.002 (0.004-0.012) ^a	0.025±0.018 (0.005-0.085) ^a	0.435±0.219 (0.177-0.925) ^a
Comb Pen Shell	<i>Atrina pectinate</i>			
Adductor Muscle		0.006±0.002 (0.002-0.010) ^a	0.051±0.042 (0.006-0.169) ^a	0.330±0.236 (0.076-0.845) ^a
Mantle		0.010±0.004 (0.004-0.019) ^b	0.157±0.106 (0.019-0.463) ^b	2.025±0.817 (0.728-3.631) ^c
Adductor Muscle +Mantle		0.007±0.003 (0.003-0.012) ^a	0.086±0.052 (0.046-0.210) ^a	0.890±0.248 (0.567-1.372) ^b

¹Mean ± STDEV (Range). With the same column (a vertical column), different letters indicate significant difference (P<0.05).

율(% of PTWI)을 산출하여 위해도를 평가하였다.

통계분석

모든 결과는 평균(mean)과 표준편차(SD)로 나타냈으며 그룹 간의 유의적인 차이를 확인하기 위해 일원배치분산분석(One-way ANOVA), 독립표본 T-검정(T-test)을 수행하였다(SAS version 9.2, SAS Institute, Cary, USA, NC) ($P < 0.05$). 수은, 납, 카드뮴 함량의 부위별 유의한 차이를 확인하기 위해 Duncan 검정법(Duncan's multiple-range test)으로 사후검정(Post-Hoc

Test)하였다.

결과 및 고찰

중금속 회수율

분석 결과의 정확성 및 재현성 확인을 위하여, 2개의 인증표준물질을 통해 회수율을 평가하였다(Table 3). 그 결과 DORM-4와 1566b의 각 회수율은 수은 91.9%, 84.8% 납 90.3%, 105.8% 카드뮴 86.1%, 103% 로 나타났다. 그 중 회수

Table 5. The estimated weekly intake of scallop *Patinopecten yessoensis* and comb pen shell *Atrina pectinata* compared with the PTWI set by JECFA

Common name	Scientific name	Mercury concentration ($\mu\text{g/g}$, wet weight)	Daily food intake ¹ (g/man/day)	Estimated weekly in take ($\mu\text{g/kg}$ b.w./week)	% of PTWI ²
Scallop	<i>Patinopecten yessoensis</i>				
Adductor Muscle		0.008	0.47	0.00041	0.010
Mantle		0.008	0.47	0.00041	0.010
Adductor Muscle +Mantle		0.008	0.47	0.00041	0.010
Comb Pen Shell	<i>Atrina pectinata</i>				
Adductor Muscle		0.006	0.21	0.00014	0.003
Mantle		0.010	0.21	0.00023	0.006
Adductor Muscle +Mantle		0.007	0.21	0.00016	0.004

¹National Food & Nutrition Statistics: based on 2013 Korea National Health and Nutrition Examination Survey. ²The percentage of the PTWI (Inorganic mercury; 4 $\mu\text{g/kg}$ b.w./week) set by JECFA. The weekly intake, Mean content of total mercury $\times$ daily food intake $\times$ 7 days/63.5 kg (b.w.). PTWI, provisional tolerable weekly intake; JECFA, joint FAO/WHO expert committee on food additives.

Table 6. The estimated monthly intake of scallop *Patinopecten yessoensis* and comb pen shell *Atrina pectinata* compared with the PTMI set by JECFA

Common name	Scientific name	Cadmium concentration ($\mu\text{g/g}$, wet weight)	Daily food intake ¹ (g/man/day)	Estimated monthly in take ($\mu\text{g/kg}$ b.w./month)	% of PTMI ²
Scallop	<i>Patinopecten yessoensis</i>				
Adductor Muscle		0.301	0.47	0.06684	0.267
Mantle		0.731	0.47	0.16232	0.649
Adductor Muscle +Mantle		0.435	0.47	0.09659	0.386
Comb Pen Shell	<i>Atrina pectinata</i>				
Adductor Muscle		0.330	0.21	0.03274	0.131
Mantle		2.025	0.21	0.20091	0.804
Adductor Muscle +Mantle		0.890	0.21	0.08830	0.353

¹National Food & Nutrition Statistics: based on 2013 Korea National Health and Nutrition Examination Survey. ²The percentage of the PTMI (Cadmium; 25 $\mu\text{g/kg}$ b.w./month) set by JECFA. The monthly intake, Mean content of cadmium $\times$ daily food intake $\times$ 30 days/63.5 kg (b.w.).

을 중 약 90%로 나타난 어류 유래 인증표준물질(DORM-4; Fish protein)의 수치는 AOAC guideline 부합하는 것으로 나타났다(AOAC International, 2002). 따라서 본 연구의 분석 대상인 대형이매패류에 대한 분석 결과는 높은 신뢰성을 가질 것으로 사료된다.

가리비 및 키조개 중 카드뮴 함량

우리나라 대형 이매패류인 가리비 및 키조개의 카드뮴 부위별 함량 분석 결과는 Table 4에 나타났다. 가리비의 부위별 카드뮴 함량은 폐각근 0.102-0.782 (평균 0.301) mg/kg, 외투막 0.175-1.414 (평균 0.731) mg/kg, 가식부 전체 0.177-0.925 (평균 0.435) mg/kg로 나타났으며, 키조개의 부위별 카드뮴 함량은 폐각근 0.076-0.845 (평균 0.330) mg/kg, 외투막 0.728-3.631 (평균 2.025) mg/kg, 가식부 전체 0.567-1.372 (평균 0.890) mg/kg로 나타났다.

본 연구에서의 가식부 전체의 가리비의 카드뮴 함량(0.890 ± 0.248 mg/kg)은 Choi et al. (2012)이 보고한 가리비(0.92 ± 0.99 mg/kg), Mok et al. (2010)이 보고한 비단가리비(0.903 ± 0.070 mg/kg)보다는 다소 낮고, 큰가리비(0.799 ± 0.067 mg/kg)보다는 다소 높았다. 또한 가식부 전체의 키조개 카드뮴 함량(0.890 ± 0.248 mg/kg)은 Mok et al. (2010)이 보고한 함량 0.718 ± 0.376 mg/kg 보다는 다소 높았지만, 우리나라 패류에 대한 카드뮴 기준치 2.0 mg/kg (MFDS, 2017)을 초과하는 시료는 없었다.

그리고 본 연구에서는 비록 소화기관에 대해서 알아보지 않았지만 Irish Sea, Scottish waters, Plymouth area의 가리비 소화기관에서 높은 농도의 카드뮴이 축적되어 있다는 것이 보고되었으며 카드뮴을 연구하는 다른 기관에서도 목표 장기로 소화기관을 말하였다(Segar et al., 1971; Topping, 1973; Bryan, 1973). 또한 Galician 가리비의 소화기관의 카드뮴 농도는 Irish Sea와 Antarctica의 가리비 농도와 비슷하다고 보고 되어있다(Segar et al., 1971). Saavedra et al. (2008)에 의하면 가리비의 카드뮴 농도가 외투막이 근육에 비해 약 3배 정도 높다고 보고 하였다. Metian et al. (2007)은 실험실 스케일의 생물 농축 실험을 한 결과 근육 및 외투막에 비해 소화기관 등 신장에서 약 10배에서 40배 정도 매우 높은 축적을 하였으며 외투막은 근육에 비해 약 2배 정도 높은 생물 농축을 하는 것으로 보고 되어있다.

가리비 및 키조개 중 납 함량

Table 4는 우리나라 대형 이매패류의 부위별 납 함량의 분석 결과를 나타냈다. 가리비의 부위별 납 함량은 폐각근 0.003-0.095 mg/kg, 외투막 0.002-0.101 mg/kg, 가식부 전체 0.005-0.085 mg/kg로 나타났으며, 키조개의 부위별 납 함량은 폐각근 0.006-0.169 mg/kg, 외투막 0.019-0.463 mg/kg, 가식부 전체 0.046-0.210 mg/kg로 나타났다.

본 연구에서의 가식부 전체의 가리비 납 함량(0.025 ± 0.018 mg/kg)은 Mok et al. (2010)이 보고한 파래가리비(0.316 mg/

kg)보다 낮았다. 우리나라 패류에 대한 납의 기준치는 2.0 mg/kg으로(MFDS, 2017) 본 실험에서 기준을 초과하는 시료는 없었다. 가리비의 납은 신장에서 우선적으로 농축되어 소화관으로 이동되어지며 신장의 농도에 비해 절반 정도 낮았으며, 외투막에 비해 근육의 농도가 2배 정도 낮은 것으로 연구 결과 나타나 있다(Saavedra et al., 2008).

가리비 및 키조개 중 총수은 함량

국내산 대형 이매패류의 부위별 총수은 함량의 분석 결과는 Table 4에 나타났다. 가리비의 부위별 총수은 함량은 폐각근 0.004-0.010 (평균 0.008) mg/kg, 외투막 0.003-0.018 (평균 0.008) mg/kg, 가식부 전체 0.004-0.012 (평균 0.008) mg/kg로 나타났으며, 키조개의 부위별 총수은 함량은 폐각근 0.002-0.010 (평균 0.006) mg/kg, 외투막 0.004-0.019 (평균 0.010) mg/kg, 가식부 전체 0.003-0.012 (평균 0.007) mg/kg로 나타났다. 우리나라 패류에 대한 총수은의 기준치는 0.5 mg/kg으로 (MFDS, 2017) 본 실험에서 기준을 초과하는 시료는 없었다.

Saavedra et al. (2007)의 연구자료에 따르면 신장이 수은 축적의 주요기관이라고 보고하였으며, 소화관도 나머지 조직보다 높은 농도를 함유하고 있는 것으로 나타났다. 수은도 다른 금속과 비슷한 패턴으로 폐각근 및 외투막보다 신장에서 10배 정도 높은 것으로 나타났으며 외투막보다 폐각근에서 약 2배 정도 낮은 것으로 보고 되었다.

가리비 및 키조개의 부위별 위해성 평가

본 연구에서 조사된 국내산 가리비 28개, 키조개 13개 품목을 부위별(폐각근, 외투막, 폐각근+외투막)로 구분하여 최종 가리비 84개, 키조개 39개에 대한 수은, 납, 카드뮴의 노출평가를 수행하였다. 부위별 중금속 함량은 총수은, 납의 경우, 폐각근과 외투막에서 유의한 차이를 보이지 않았지만, 카드뮴의 경우, 폐각근에 비해 외투막에서 유의적으로 높게 나타났다($P < 0.05$). 이상의 결과를 토대로 위해도 평가를 수행한 결과, 총수은은 무기수는 잠정주간섭취허용량(PTWI)의 0.003-0.010% (Table 5), 카드뮴은 잠정월간섭취허용량(PTMI)의 0.131-0.804%로 우리나라 일반 국민이 대형이매패류 섭취로 인한 수은, 카드뮴 위해가능성은 안전한 수준이었다(Table 6). 따라서 본 연구의 대형이매패류에 대한 부위별 중금속 함량결과는 한국인의 패류 식이습관에 따른 건강 위해도 평가를 위한 기초자료로 활용할 수 있을 것이다.

이상의 결과를 요약하면, 가리비 및 키조개의 부위별 총수은, 납, 카드뮴 함량을 비교해본 결과, 기관별로 유의적인 축적도 차이를 나타냈다(외투막>폐각근) ($P < 0.05$). 또한 우리나라 수산물 중 중금속 허용기준치와 비교하였을 때, 총수은과 납은 기준치에 부합하였으나, 카드뮴 함량은 키조개 외투막에서 40%가 우리나라 기준치(2 mg/kg)를 초과하였다. 하지만 가식부 전체(폐각근+외투막)에 대한 카드뮴 함량은 모두 기준치 이하로 안전한 수준이었다. 이상의 결과를 토대로 인체 위해도

를 평가 해본 결과, 총수은의 잠정주간섭취허용량에 비해 최대 0.010%, 카드뮴의 잠정일간섭취허용량에 비해 최대 0.804%로 우리나라 일반 국민의 대형이매패류 섭취로 인한 수은, 카드뮴 위해가능성은 낮은 것으로 평가되었다.

사 사

이 논문은 2017년도 국립수산물과학원 수산과학연구사업(수출패류 생산해역 및 수산물 위생조사, R2017057)의 지원으로 수행된 연구이며 연구비 지원에 감사 드립니다.

References

- AOAC International. 2002. AOAC guidelines for single laboratory validation of chemical methods for dietary supplements and botanicals. Gaithersburg, Gaithersburg, MD, U.S.A.
- Bryan GW. 1973. The occurrence and seasonal variation of trace metals in the scallops *Pecten maximus* and *Chlamys opercularis*. J mar biol Ass UK 53, 145-166.
- Bustamante P and Miramand P. 2004. Interspecific and geographical variations of trace element concentrations in Pectinidae from European waters. Chemosphere 57, 1355-1362.
- Bustamante P and Miramand P. 2005. Subcellular and body distributions of 17 trace elements in the variegated scallop *Chlamys varia* from the French coast of the Bay of Biscay. Sci Total Environ 337, 59-73.
- Carmichael, Fowler NG and Fowler BA. 1981. Cadmium accumulation and toxicity in the kidney of the bay scallop *Argopecten irradians*. Mar Biol 65, 35-43.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2016. The state of world fisheries and aquaculture 2016. FAO, 171-182. Retrieved from <http://www.fao.org/publications/sofia/2016/en/?platform=> on Jun 2, 2017.
- Hervé-Fernández P, Houlbrèque F, Boisson F, Mulsow S, Teyssié JL, Oberhänsli F, Azemard S and Jeffree R. 2010. Cadmium bioaccumulation and retention kinetics in the Chilean blue mussel *Mytilus chilensis*: seawater and food exposure pathways. Aquat Toxicol 99, 448-456.
- He WX and Wang M. 2013. Bioaccessibility of 12 trace elements in marine molluscs. Food Chem Toxicol 55, 627-636.
- Husmann G, Abele D, Monien D, Monien P, Kriews M and Philipp EER. 2012. The influence of sedimentation on metal accumulation and cellular oxidative stress markers in the Antarctic bivalve *Laternula elliptica*. Estuarine Coastal Shelf Sci 111, 48-59.
- Irato P, Santovito G, Cassini A, Piccinini E and Albergoni V. 2003. Metal accumulation and binding protein induction in *Mytilus galloprovincialis*, *Scapharca inaequivalvis* and *Tapes philippinarum* from the Lagoon of Venice Arch. Bull Environ Contam Toxicol 44, 476-484.
- Jeong BY, Choi BD and Lee JS. 1999. Proximate composition and sterol content of 35 species of marine invertebrates. J Korean Fish Soc 32, 192-197.
- Julshamn K, Duinker A, Frantzen S, Torkildsen L and Maage A. 2008. Organ distribution and food safety aspects of cadmium and lead in Great Scallops, *Pecten maximus* L., and Horse Mussels, *Modiolus modiolus* L., from Norwegian waters. Bull Environ Contam Toxicol 80, 385-389.
- Kamimura S. 1980. Influence of copper and zinc in food substance on the accumulation of cultured oysters. Bull Japan Soc Sci Fish 46, 83-85.
- Kim DM and Kim HS. 1991. Heavy Metal Analysis in Fresh Water Shellfishes of the Kum River System. Korean J Malacology 7, 66-75.
- Kruzynski GM. 2004. Cadmium in oysters and scallops: The BC experience Toxicol Lett 148, 159-169.
- Kim HY, Kim JC, Kim SY, Lee JH, Jang YM, Lee MS, Park JS and Lee KH. 2007. Monitoring of heavy metals in fishes in Korea. Korean J Food Sci Technol 39, 353-359.
- Metian M, Warnau M, Oberhänsli F, Teyssié JL and Bustamante P. 2007. Interspecific comparison of Cd bioaccumulation in European Pectinidae (*Chlamys varia* and *Pecten maximus*). J Exp Mar Biol Ecol 353, 58-67.
- MFDS (Ministry of Food and Drug Safety). 2016. Food code. Chapter 2. Common Standards and Specifications on General Foods. Cheongju, Korea. Retrieved from <http://www.foodsafty-korea.go.kr/portal/safe-foodlife/food/foodRvLv/foodRvLv.do> on Jun 30, 2017.
- Mok JS, Lee DS, Yoon HD, Park HY, Kim YK and Wi CH. 2007. Proximate composition and nutritional evaluation of fisheries products from the Korean coast. J Korean Fish Soc 40, 259-568.
- Mok JS, Lee KJ, Shim KB, LEE TS, Song KC and Kim JH. 2010. Contents of Heavy Metals in Marine Invertebrates from the Korean Coast. J Korean Soc Food Sci Nutr 39, 894-901.
- Philip SR. 1995. Biomonitoring of heavy metal availability in the marine environment. Mar Pollut Bull 31, 183-192.
- Saavedra Y, González A and Blanco J. 2008. Anatomical distribution of heavy metals in the scallop *Pecten maximus* Food Addit Contam 25, 1339-1344.
- Saavedra Y, González A and Blanco J. 2014. Anatomical distribution of heavy metals in the scallop *Pecten maximus* Food Addit Contam Part A 25, 1339-1344.
- Segar DA, Collins JD and Riley JP. 1971. The distribution of the major and some minor elements in marine animals. J mar biol Ass UK 51, 131-136.
- Sung DW and Lee YW. 1993. A study on the content of heavy metals of marine fish in Korean coastal water. Korean J Food Hyg 8, 231-240.
- Topping G. 1973. Heavy metals in shellfish from Scottish waters. Aquaculture 1, 379-384.
- Viarengo A, Canesil L, Mazzucotelli A and Ponzano E. 1993.

Cu, Zn and Cd content in different tissues of the Antarctic scallop *Adamussium colbecki*: Role of metallothionein in heavy metal homeostasis and detoxication. Mar Ecol Prog Ser 95, 163-168.

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.