

## 영덕대게와 러시아산대게의 체내 미량금속 함량 연구

김초련 · 윤이용<sup>†</sup>  
관동대학교 보건환경학과

### A Study on Trace-metals in Korean Yeongdeok Crab and Russian Snow Crab

Cho-Ryeon Kim and Yi-Yong Yoon<sup>†</sup>

Department of Health and Environment, Kwandong University

#### 요 약

본 연구에서는 생산 지역이 한정되어 있고, 맛이 뛰어나 소비자들이 선호하고 있는 영덕대게와 러시아산 대게의 효율적 이용과 식품위생학적 안전성 및 먹이사슬을 통한 미량금속의 순환 연구에 기초자료를 제공하기 위하여 영덕대게(수컷, 암컷)와 러시아산 대게의 부위별 니켈, 구리, 아연, 카드뮴, 납, 비소, 크롬의 농도를 ICP-MS로 분석하였다. 인증표준물질(certified reference material, CRM)을 사용한 각 금속에 대한 회수율은 평균 81~99%로 Codex에서 요구하고 있는 수준에 부합하였다. 영덕대게의 부위별 금속 농도는 수컷과 암컷의 껍질에서는 Ni > As > Zn > Cu > Cr > Cd, 다리살은 Zn > As > Cu > Cr > Ni > Cd, 몸통살은 Zn > As > Cu > Cr > Cd > Ni, 아가미는 Cu > Zn > As > Cd > Cr > Ni 순으로 같았으며, 내장에서 수컷은 Cu > As > Zn > Cd > Ni > Cr, 암컷은 Cu > Zn > As > Cd > Cr > Ni 으로 다소 차이가 있었다. 러시아산대게는 카드뮴을 제외한 모든 금속류(니켈, 구리, 아연, 비소, 크롬)의 농도가 영덕대게와 비슷하거나 다소 낮게 나타났지만, 카드뮴 농도는 모든 부위에서 높게 나타났다. 특히, 내장에서는 약 2배, 아가미에서는 약 4배 높게 나타났다. 영덕대게의 크기별 미량금속 농도변화에서 부위별로 가장 농도가 높은 금속류(껍질의 Ni, 다리살과 몸통살의 Zn, 내장과 아가미의 Cu)들은 전반적으로 성장할수록 감소하는 경향이 있는 반면, 내장에 가장 많이 축적되어 있는 카드뮴의 농도는 전반적으로 증가하는 경향이 있으며, 성장과 더불어 내장 내 생물축적현상이 가중될 가능성이 있다.

**Abstract** – This study is to measure the differences of the trace-metals resulted from the different ecologies, such as nickel(Ni), copper(Cu), zinc(Zn), cadmium(Cd), plumbum(Pb), arsenic(As) and chrome(Cr) remaining in the parts of Korean Yeongdeok Crab (KYC) and Russian Snow Crab (RSC) based on ICP-MS. The recovery rate of each metal certified the reference materials (CRM) was in the average of 81~99%, which corresponded with the level required in Codex. The level of metals in the parts of KYC was in the order of Ni > As > Zn > Cu > Cr > Cd in the both male and female shell; the order of Zn > As > Cu > Cr > Ni > Cd in the leg flesh; the order of Zn > As > Cu > Cr > Cd > Ni in the body flesh; the order of Cu > Zn > As > Cd > Cr > Ni in the gill; the order of Cu > As > Zn > Cd > Ni > Cr in the male hepatopancreas; the order of Cu > Zn > As > Cd > Cr > Ni in the female hepatopancreas, thereby showing some differences. It was revealed that the levels of most metals (nickel, copper, zinc, arsenic and chrome) were similar between KYC and RSC except cadmium which was somewhat lower than that of KYC. However, the cadmium in RSC was discovered in high level in most of the parts, two times higher in the hepatopancreas, and four times in the gill. It was also revealed that the trace metal contents were changing according to the size of KYC; the metals with the highest level of Ni in shell, Zn in leg and body flesh, Cu in gill tended to decrease as growing, whereas the cadmium contents tended to increase overall and accumulated the most in hepatopancreas. The results showed there was a possibility that the phenomenon of bioaccumulation within hepatopancreas would increase as growing.

**Keywords:** snow crabs(대게), trace metals(미량금속), leg flesh(다리살), body flesh(몸통살), hepatopancreas(내장), gill(아가미), shell(껍질)

<sup>†</sup>Corresponding author: yoonyy@kwandong.ac.kr

## 1. 서 론

갑각류 중 게는 전 세계적으로 선호하여 즐겨먹는 수산물 중의 하나이며, 특히 대게는 근육량이 많고, 조직감이 좋으면서 어획량이 적어 아주 고가로 유통되고 있는 고급어획종 중의 하나이다. 영덕군의 해역은 타 지역보다 대게가 서식할 수 있는 대륙붕의 면적이(수심 100-300 m) 넓고 길며, 주로 단구로 형성되었기에 서식 환경이 매우 적합한 장소이다. 또한, 영덕군의 축산면과 경정리 앞 바다의 무화잡은 개흙질(mud)이 없어 생산되는 대게의 맛과 상품성이 뛰어난 것으로 알려져 있어 우리나라에서 대게라 함은 일반적으로 영덕에서 생산되는 것으로 알려져 있다(Kim *et al.*[2004]).

근년 우리나라는 급속한 산업발전에 따라 각종 생활하수, 산업폐수 등에 의하여 하천 및 연안 해역 등의 환경오염이 가속화되고 있다. 육상에서 연안 수역으로 유입된 일부 미량금속들은 희석, 확산, 분해 등의 과정을 거치면서 점차 감소되지만 반대로 생물에 있어서는 먹이연쇄과정을 통하여 체내에 생물농축 된다(Sung and Lee[1993]). 특히, 갑각류는 한정된 이동성을 가지며 주위의 해수를 흡수하거나 퇴적물 또는 먹이의 섭취를 통해 그들의 체내에 미량금속류를 축적할 수 있으며 고농도의 금속은 성장, 번식, 탈피 주기, 사지재생, 생화학 및 생리학에 영향을 미친다는 사실이 알려져 있다(Bryan[1971, 1979]).

대부분의 연안에서 서식하고 있는 수산물은 오염의 우려가 있어 식품 위생상 문제가 될 수 있고, 어류 갑각류 등 수산물의 섭취량이 점진적으로 증가됨에 따라 이들 식품에 대한 안전성 확보가 대두되고 있으며, 납과 카드뮴은 오염 가능성이 높아 우리나라에서도 어류와 패류 중 규제기준이 설정되어 있다. 지금까지 수산물 중 어패류 등의 중금속 함량에 대한 결과는 다수 보고되었으나 갑각류에 대한 연구는 국내에서 대단히 미비한 실정이다(김 등 [2004]).

본 연구에서는 생산 지역이 한정되어 있고, 맛이 뛰어나 소비자들이 아주 선호하고 있는 국내산 영덕대게와 러시아산 수입 대게의 효율적 이용과 식품위생학적 안전성 및 먹이사슬을 통한 미량원소의 순환연구에 기초자료를 제공하기 위하여 니켈, 구리, 아연, 카드뮴, 비소, 크롬의 체내 부위별 농도를 측정하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 시료 구입

실험에 사용한 대게는 영덕대게 수컷과 암컷, 러시아산 대게이며, 영덕대게(일반적으로 수컷을 지칭함)는 2010년 1~2월에 영덕 대진항 앞바다에서 어획된 것을 2차례에 걸쳐 갑장 크기별로 9 cm(평균중량 325.6 g), 10 cm(평균중량 391.6 g), 11 cm(평균중량 535.7 g), 12 cm(평균중량 659.4 g), 13 cm(평균중량 820.5 g) 각 2개체씩 구입하여 실험에 이용하였으며, 암컷대게는 경상북도 수산자원개발연구소에서 종묘생산을 위해 3월말에 포획한 것 중 2개체를(평균 갑장크기 8.2 cm, 평균 중량 321.3 g), 러시아산 대게

는 5월에 주문진항에서 당일 오전에 위판되어 들어온 살아있는 3개체(평균 갑장크기 12 cm, 평균중량 770.5 g)를 구입하여 실험에 이용하였다. 대게 시료는 실험실로 이동하여 갑장 및 중량을 측정 한 뒤 지퍼백에 담아서 분석시까지 -20 °C에서 냉동 보관하였다.

분석시 시료를 해동하여 초순수로 깨끗이 세척한 후 껍질, 다리육, 몸통육, 내장, 아가미로 구분하여 분석에 사용하였다.

### 2.2 시약 및 표준물질

본 연구에 사용한 질산, 과염소산은 유해중금속분석용 특급시약(Junsei Chemical Ltd, Japan)을 구입하여 사용하였으며, 실험에 사용한 증류수는 초순수장치(Milli-Q Biocel, Millipore, Billerica, MA, USA)로 18.2 Ω으로 정제한 초순수를 사용하였다. 모든 초자기구는 5% 질산용액에서 24시간 이상 침지시킨 후 초순수로 깨끗이 세척하여 건조시켜서 사용하였다. 중금속 분석을 위한 표준액은 혼합 표준액(Perkin Elmer PE)을 0.2N 질산에 희석하여 사용하였으며, 분석시료의 정도관리(QA/QC)를 위해 인증표준물질(Certified Reference Material)인 DORM-3(National Research Council, Canada)을 갑장크기별로 분석시마다 시료와 동일조건으로 3개씩 전처리하였다.

### 2.3 미량금속 분석

대게 중의 미량금속 함량은 해양환경공정시험법(해양수산부 [2002])에 따라 측정하였다. 즉, 습식회화법에 따라 대게를 부위별로 구분하여 Teflon PEA용기에 부위별 시료를 약 10~20 g을 취하여 질산 10 ml를 첨가하여 상온에서 충분히 반응시킨 후, 가열판에서 110 °C로 가열하여 암갈색이 되기 시작하고 반응용기 내 시료가 거의 분해되었을 때 가열판에서 반응용기를 내려 방냉시킨 후, 질산과 과염소산을 2.5~5 ml를 추가하면서 시료가 완전히 분해되어 노란색 또는 무색을 띠는 맑은 용액이 될 때까지 분해시켰다. 완전히 분해시킨 후 0.2 N 질산용액으로 재용출하고 여과지(Advantec 2A)로 여과하여 여액을 100 ml로 정용하였다. 실험에 사용된 모든 개체들의 부위별 시료들은 3개씩 각각 별도의 처리과정으로 준비하여 분석하였으며, 동일시료도 3번 반복 분석하여 평균값을 대표값으로 사용하였다.

시료용액 중의 니켈(Ni), 구리(Cu), 아연(Zn), 카드뮴(Cd), 비소(As), 크롬(Cr)의 함량을 ICP-MS(Elan DRC-e, Perkin-Elmer, Wellesley, MA, USA)로 측정하여 생물중량으로 나타내었으며, 각 금속별 회수율을 평가하기 위하여 시료와 동일한 방법으로 인증표준물질을 분석하였다.

## 3. 결 과

### 3.1 인증표준물질의 회수율

인증표준물질은 중금속 분석용 Fish protein(DORM-3)를 구입하여 사용하였으며, 중금속에 대한 회수율의 결과는 Table 1과 같이 81~99%이었다. 즉, 니켈은 92%, 구리는 96%, 아연 81%, 카드뮴

**Table 1.** Recovery of trace metals from DORM-3 (n=28)

Heavy metals	Certified (mg/kg)	Measured (mg/kg)	Recovery (%)
Ni	1.28±0.24	1.179±0.083	92±6.5
Cu	15.50±0.63	14.86±0.53	96±3.5
Zn	51.3±3.1	41.46±2.55	81±5.0
Cd	0.290±0.020	0.287±0.025	99±8.5
As	6.88±0.30	6.318±0.453	92±6.6

99%, 비소 92%이었다. Codex에서는 0.1~10 mg/kg 범위에서는 80~110%의 회수율을, 0.01 mg/kg 및 0.001 mg/kg에서는 각각 60~115% 및 40~120%의 회수율을 요구하고 있으므로 이에 부합한다.

**3.2 영덕대게(수컷)의 부위별 미량금속 농도**

영덕대게의 부위에 따른 미량금속 농도를 알아보기 위하여 다섯 부위(껍질, 다리살, 몸통살, 내장, 아가미)로 나누어 분석하였으며, 그 결과를 Table 2에 나타내었다.

부위별 농도를 비교해 보면, 껍질에서 니켈이 2.349±0.953 mg/kg으로 다른 부위보다 약 20배 이상 높은 반면, 구리, 아연, 카드뮴, 비소, 크롬의 농도는 가장 낮았다. 껍질내 미량금속의 농도는 Ni > As > Zn > Cu > Cr > Cd 순으로 다른 조직에 비해 Ni의 함량이 상대적으로 높음을 알 수 있다.

다리살 농도는 아연 10.98±3.284 mg/kg, 비소 10.69±3.531 mg/kg, 구리 6.013±1.511 mg/kg, 크롬 0.388±0.145 mg/kg, 카드뮴 0.017±0.020 mg/kg 순으로 아연이 가장 높았다. 김 등[2004]의 영덕대게 다리살 구리농도(0.29±0.01 mg/kg), 카드뮴농도(0.02±0.01 mg/kg)와 비교할 때, 구리는 다소 높은 반면, 카드뮴은 비슷하게 나타났다. 알래스카 노턴만에 서식하는 붉은 왕게(Stephen and Sathy[2000])의 경우, 다리살의 구리농도가 74.45±14.21 mg/kg, 비소농도가

16.31±2.63 mg/kg, 카드뮴농도가 0.19±0.06 mg/kg로서 영덕대게보다 훨씬 높게 보고되었다.

몸통살은 다리살과 마찬가지로 다른 부위에 비해 아연이 15.83±4.276 mg/kg으로 높은 농도를 보이며, 구리 4.571±1.726 mg/kg, 카드뮴 0.079±0.062 mg/kg으로, 김 등[2004]의 구리(0.28±0.01 mg/kg), 카드뮴(0.04±0.01 mg/kg) 농도 보다 다소 높게 나타났다.

일반적으로 중금속이 많이 축적된다고 알려져 있는 내장의 경우, 전반적으로 모든 금속의 농도가 다른 부위보다 높게 나타났다. 특히 카드뮴(2.443±1.975 mg/kg)은 다른 부위에 비해 30-140배 높게 나타났다. 이것은 국내 연체류(두족류 포함) 및 패류의 카드뮴 잔류허용기준(2.0 mg/kg)을 초과하는 것으로 기존에 보고된 대게 내장의 카드뮴 농도(0.24±0.01 mg/kg, 김 등[2004]) 보다는 높지만 알래스카 노턴만에 서식하는 붉은 왕게(Stephen and Sathy[2000]) 내장의 카드뮴 농도(13.52±3.48 mg/kg)보다는 매우 낮은 결과이다. 본 연구에 분석된 10개의 시료 중 최소치(0.428 mg/kg)와 최대치(7.735 mg/kg) 간의 큰 편차를 보임으로서 서식환경이나 개체의 생리화학적 특성, 채집당시 먹이원에 의한 차이가 두드러짐을 알 수 있다. 내장 다음으로 카드뮴의 함량이 높은 곳은 아가미 부분이었다(0.281±0.061 mg/kg).

최근 갑각을 제외한 대게 전체육의 미량금속 함량을 측정된 결과(Mok 등[2010]; 구리 3.779±1.861 mg/kg, 아연 27.980±5.478 mg/kg, 니켈 0.075±0.069 mg/kg, 크롬 0.214±0.156 mg/kg, 카드뮴 0.078±0.132 mg/kg)와 비교해 볼 때, 본 연구에서 측정된 몸통살의 함량과 비슷하였다.

Fig. 1은 영덕대게 각 부위별 미량원소 농도를 나타낸 것으로 각 부위별 미량원소 축적 패턴이 다르게 나타났다. 껍질에는 Ni, 다리살과 몸통살에는 Zn, 아가미와 내장에서는 Cu가 다른 원소보다 상대적으로 많이 함유되어 있으며, 생리적 특성에 의해 부위별

**Table 2.** Concentrations of trace metals in different tissues of male Yeongdeok snow crab(mg/kg, wet weight)

Tissue		Ni	Cu	Zn	Cd	As	Cr
Shell (n <sup>1</sup> )=10)	Mean	2.349	0.639	1.236	0.024	1.887	0.281
	SD	0.953	0.689	0.899	0.039	0.039	0.108
	Min	0.947	0.065	0.293	0.001	0.759	0.087
	Max	4.779	3.190	3.502	0.153	4.443	0.453
Leg muscle (n=10)	Mean	0.041	6.013	10.98	0.017	10.69	0.388
	SD	0.018	1.511	3.284	0.020	3.531	0.145
	Min	0.021	2.983	5.552	0.005	4.185	0.185
	Max	0.085	9.125	17.30	0.092	16.50	0.644
Body muscle (n=10)	Mean	0.055	4.571	15.83	0.079	9.782	0.402
	SD	0.024	1.726	4.276	0.062	3.254	0.126
	Min	0.026	2.466	10.43	0.026	4.093	0.260
	Max	0.124	7.578	23.44	0.230	15.27	0.627
Hepatopancreas (n=10)	Mean	0.856	12.87	8.875	2.443	11.18	0.388
	SD	0.364	4.620	2.842	1.975	3.936	0.133
	Min	0.098	5.949	3.810	0.428	3.174	0.159
	Max	1.455	18.61	12.57	7.735	17.18	0.599
Gill (n=10)	Mean	0.101	10.66	5.381	0.281	2.407	0.201
	SD	0.039	6.355	1.828	0.061	1.198	0.076
	Min	0.053	2.520	3.158	0.176	0.745	0.119
	Max	0.157	21.07	8.162	0.388	3.665	0.334

<sup>1</sup>n: Number of individuals.

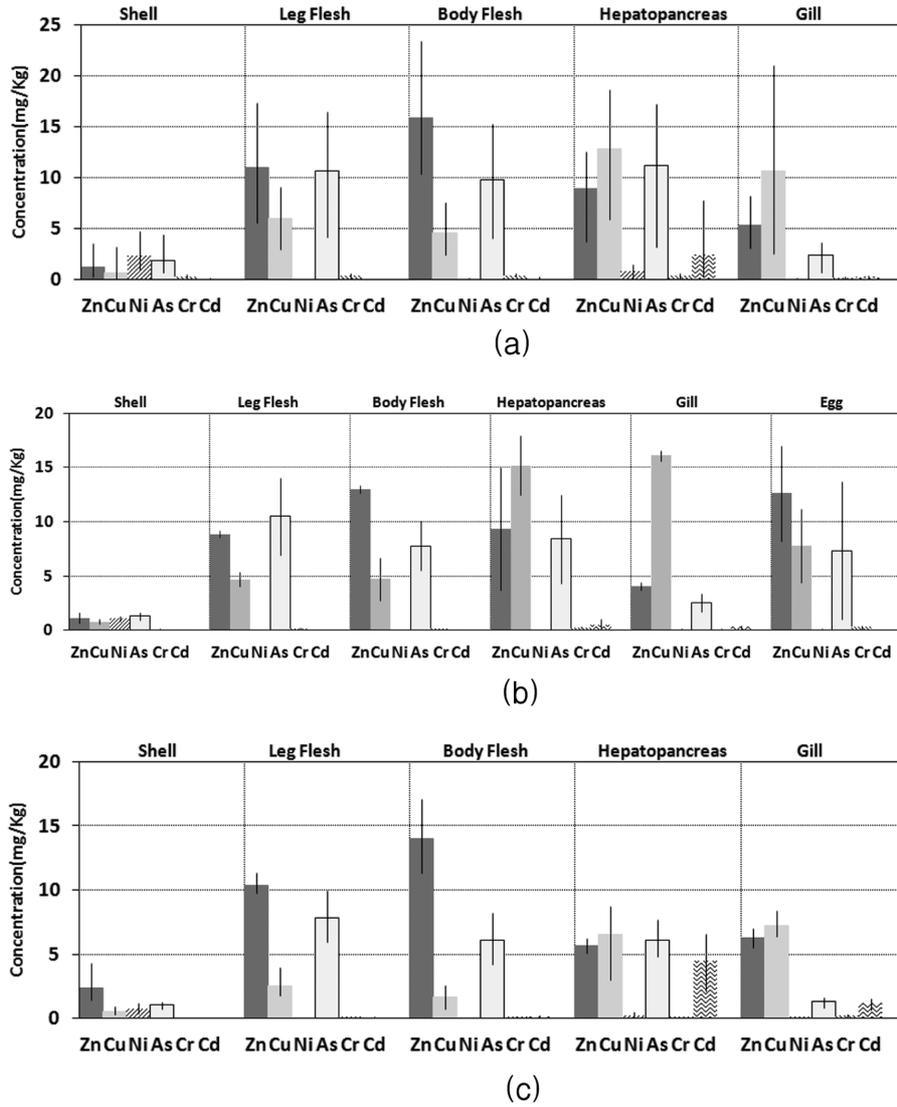


Fig. 1. Average concentrations of trace metals in snow crabs, (a) male Yeongdeok snow crabs, b) female Yeongdeok snow crabs, (c) Russian snow crabs.

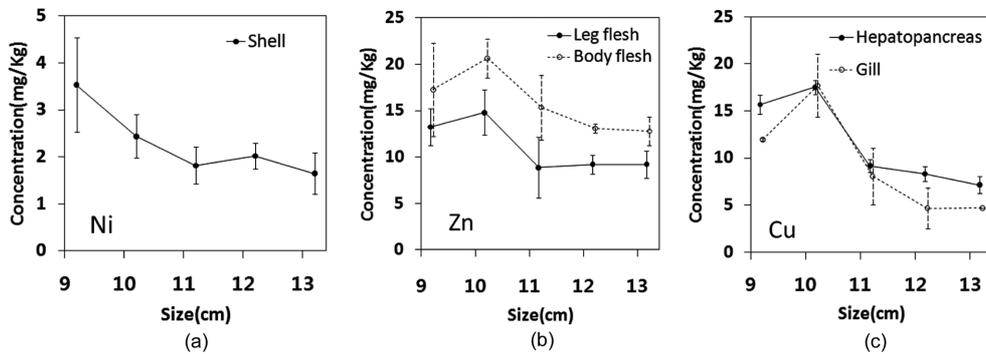


Fig. 2. Variation of concentrations of major trace metals according to size. (a) Nickel concentrations in shell, (b) Zinc concentrations of leg and body flesh, (c) Copper concentrations in hepatopancreas and gill.

로 축적되는 미량금속의 농도 차이가 나타난다.

부위별로 가장 농도가 높은 미량원소의 개체 크기별(9, 10, 11, 12, 13 cm) 생물농축 변화추이를 알아보기 위해 껍질부위의 니켈,

다리살과 몸통살의 아연, 내장과 아가미의 구리 농도 변화를 Fig. 2에 도시하였다. 껍질에 가장 많이 함유되어 있는 니켈은 성장하면서 점차 감소하는 추이를 보인 반면, 다리살과 몸통살의 아연과

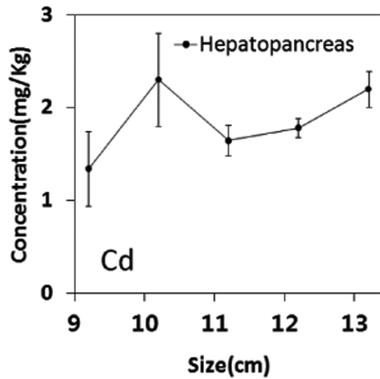


Fig. 3. Variation of cadmium concentrations in hepatopancreas.

내장과 아가미의 구리 농도는 10 cm 크기에서 최대치를 보인 후 성장과 더불어 감소하는 추이이다. 보다 큰 게에서 발견되는 금속의 감소경향(White and Rainbow[1985], [1987]; Sanders *et al.*[1998])은 껍질의 표면흡수 효과와 성장에 의해 설명될 수도 있으며(Bryan

and Ward[1965], Rainbow[1990]), 탈피를 하는 것이 과잉된 금속을 체내로부터 제거하는데 도움이 되는 역할을 한다고 알려져 있다(Malins *et al.*[1980]). 그러나 영덕대게 중 카드뮴 농도가 가장 높은 내장의 카드뮴 농도는 10 cm 개체에서 최대치를 나타냈지만 전반적으로 갑장의 크기가 증가할수록 높아지는 경향을 보임으로서 성장과 더불어 체내 생물축적현상이 가중될 가능성이 있다(Fig. 3).

### 3.3 영덕대게 암컷의 부위별 미량금속 농도

영덕대게 암컷의 부위별 미량금속 농도를 Table 3에 나타내었다. 영덕대게 수컷의 부위별 농도와 비교했을 때 부분적인 차이는 있으나 전반적으로 비슷한 양상을 보이고 있다. 내장에서의 구리와 아연의 농도(15.19±2.73 mg/kg, 9.349±5.670 mg/kg)는 수컷보다 다소 높았으나, 카드뮴의 농도(0.492±0.509 mg/kg)는 수산물 잔류허용기준(2.0 mg/kg) 이하로 낮았다. 영덕대게(수컷)와 마찬가지로 아가미와 내장 부분에서 Cu와 Cd의 농도가 다른 부위보다 높게 나타났다.

Table 3. Concentrations of trace metals in different tissues of female Yeongdeok snow crab(mg/kg, wet weight)

Tissue		Ni	Cu	Zn	Cd	As	Cr
Shell (n <sup>1</sup> =2)	Mean	1.096	0.793	1.115	0.011	1.319	0.084
	SD	0.221	0.216	0.486	0.009	0.345	0.028
Leg muscle (n=2)	Mean	0.027	4.701	8.856	0.009	10.47	0.177
	SD	0.015	0.636	0.277	0.001	3.542	0.037
Body muscle (n=2)	Mean	0.028	4.707	12.98	0.046	7.771	0.150
	SD	0.019	1.916	0.343	0.011	2.228	0.026
Hepatopancreas (n=2)	Mean	0.054	15.19	9.349	0.492	8.396	0.279
	SD	0.017	2.732	5.670	0.509	4.047	0.081
Egg (n=2)	Mean	0.086	7.792	12.63	0.026	7.330	0.282
	SD	0.053	3.362	4.383	0.000	6.330	0.168
Gill (n=2)	Mean	0.077	16.07	4.033	0.282	2.548	0.078
	SD	0.034	0.494	0.357	0.109	0.835	0.035

<sup>1</sup>n: Number of individuals.

Table 4. Concentrations of trace metals in different tissues of male Russia snow crab(mg/kg, wet weight)

Tissue		Ni	Cu	Zn	Cd	As	Cr
Shell (n <sup>1</sup> =3)	Mean	0.778	0.543	2.320	0.027	1.023	0.057
	SD	0.269	0.231	1.103	0.023	0.223	0.013
	Min	0.426	0.331	1.401	0.006	0.723	0.045
	Max	1.163	0.901	4.321	0.064	1.299	0.081
Leg muscle (n=3)	Mean	0.018	2.537	10.39	0.050	7.855	0.121
	SD	0.005	0.974	0.553	0.044	1.578	0.020
	Min	0.012	1.760	9.745	0.014	5.919	0.097
	Max	0.026	3.992	11.33	0.111	10.00	0.149
Body muscle (n=3)	Mean	0.023	1.628	14.00	0.125	6.094	0.108
	SD	0.008	0.777	2.323	0.060	1.670	0.016
	Min	0.014	0.748	11.33	0.068	4.229	0.081
	Max	0.031	2.607	17.11	0.205	8.205	0.125
Hepatopancreas (n=3)	Mean	0.267	6.555	5.637	4.476	6.064	0.135
	SD	0.149	2.598	0.470	1.863	1.126	0.017
	Min	0.145	3.027	5.066	2.107	4.870	0.123
	Max	0.463	8.742	6.244	6.561	7.679	0.169
Gill (n=3)	Mean	0.121	7.235	6.284	1.159	1.331	0.220
	SD	0.028	1.048	0.734	0.463	0.445	0.110
	Min	0.095	6.366	5.540	0.638	0.817	0.094
	Max	0.150	8.399	7.007	1.523	1.594	0.298

<sup>1</sup>n: Number of individuals.

암컷대개 알의 미량금속 농도를 측정하기 위하여 외부에 포란하고 있는 발안상태의 검은 알을 분리하여 분석을 하였다. 다른 부위에 비해 아연( $12.63 \pm 4.38$  mg/kg)과 크롬( $0.282 \pm 0.168$  mg/kg)의 농도가 다소 높게 나타났다.

### 3.4 러시아산대개의 부위별 미량금속 농도

러시아산 대개의 부위별 미량금속 농도를 Table 4에 나타내었다. 러시아산대개는 영덕대개와 비교할 때, 카드뮴을 제외한 모든 금속류(니켈, 구리, 아연, 비소, 크롬)의 농도는 비슷하거나 다소 낮게 나타났다. 그러나 카드뮴은 모든 부위에서 높게 나타났다. 특히, 내장에서는 약 2배, 아가미에서는 약 4배 높게 나타났다.

## 4. 고 찰

본 연구에서 분석된 미량금속의 생물축적 유형은 대개의 어획해역과 성별, 부위에 따라 다소 차이가 있었다. 영덕대개의 경우, 암수 모두 껍질에서는  $Ni > As > Zn > Cu > Cr > Cd$ , 다리살에서는  $Zn > As > Cu > Cr > Ni > Cd$ , 몸통살에서는  $Zn > As > Cu > Cr > Cd > Ni$ , 아가미에서는  $Cu > Zn > As > Cd > Cr > Ni$  순으로 많이 함유되어 있었으나 내장에서는 암수가 다소 차이가 있었다(수컷은  $Cu > As > Zn > Cd > Ni > Cr$ , 암컷은  $Cu > Zn > As > Cd > Cr > Ni$ ). 러시아산 대개의 경우, 껍질에서 아연과 비소가 니켈 보다 함량이 높아서 영덕대개와 다소 차이를 보이고 있으나 기타 다른 부위는 대동소이하다. 이와 같은 차이는 과잉으로 유입되는 미량원소의 오염원과 접할 때 변할 수 있으며, 지역적인 차이 혹은 생리학적 요구에 의해서 성별에 따라 달라질 수도 있을 것이다(Paez Osuna and Tron Mayen[1995]).

갑각류에서 오염물질의 생물농축에 가장 취약한 기관은 아가미와 내장이다. 아가미는 큰 흡착력이 있는 기관으로 유해물질이 유입될 수 있는 곳 중 하나이며 대사작용을 통해 물질이 배출될 때에도 큰 손상이 생길 수 있다(Bryan [1971]). 내장은 흡수, 저장 및 해독 기능 때문에 다른 부위보다 금속의 농도가 높은 것이 일반적이며 내장에서의 농도가 몸통살의 농도보다 더 높다고 일반적으로 알려져 있다(Mortimer[2000], Paez Osuna and Tron Mayen [1995]). 본 연구에서도 비록 껍질에서는 니켈이, 다리살과 몸통살에서는 아연의 농도가 높지만 총체적인 금속류의 함량이 내장과 아가미에서 높게 나타났다. 특히 구리와 카드뮴이 다른 부위에 비해 높은 함량을 보였다.

내장과 아가미에서 높은 농도를 보이는 카드뮴은 유해 금속으로 수은과 더불어 독성이 가장 높고, 장기간 섭취시 신체 중 주로 신장과 간에 축적되며, 소화관에서 흡수가 어려운 금속의 일종이지만, 일단 흡수되면 서서히 제거되며 생물학적 반감기는 10~30년으로 보고되고 있다(USFDA[1993]). 외국의 갑각류에 대한 카드뮴 잔류허용기준을 살펴보면 미국은 3.0 mg/kg, EU, 덴마크에서 0.5 mg/kg, 네덜란드는 0.3 mg/kg(USFDA[2005], EU[2005], Kim and Han[1995])으로 정하고 있으며, 우리나라에서는 갑각류

에 대한 기준은 없고 어패류의 카드뮴 기준이 2.0 mg/kg으로 설정되어 있다. 본연구의 내장에서 카드뮴 2.0 mg/kg을 초과한 것은 영덕수컷대개 10마리 중 4마리이며, 나머지 6마리는 0.428~1.967 mg/kg의 범위를 보였고, 내장에서 높은 카드뮴 농도를 보인 4마리는 다리살 및 몸통살에서도 다른 6마리의 대개보다 높은 카드뮴 수준을 보여서 서식지에 따른 환경 영향으로 생각할 수 있을 것이다.

구리는 갑각류의 혈액 색소 및 효소의 활동에 필수적이지만 배출되지 않고 높은 농도로 축적된다면 유해할 수 있다(Ahearn *et al.*[2004], Rainbow[2007], Vernberg and Vernberg[1974]). 어류 중의 구리함량을 규제하고 있는 나라는 호주 70 mg/kg, 캐나다 50 mg/kg, 영국 20 mg/kg으로 기준치를 높게 잡고 있고(Kim and Han[1999], 정길수[2003]) 우리나라에서 갑각류 중의 구리함량은 민꽃게 1.905 mg/kg, 꽃게 8.799 $\pm$ 4.158 mg/kg, 꽃새우 2.276 mg/kg, 대하 4.174 $\pm$ 1.713 mg/kg으로 보고(Mok *et al.*[2010], 서 등 [1993]) 되고 있어 본 실험 측정치와 비교해 볼 때 자연 수준으로 추측할 수 있다.

비소는 지구상에 존재하는 동식물조직에 다양하게 분포되어 있으며 심지어는 오염되지 않은 식품을 섭취할지라도 인간은 1일 약 0.5 mg을 섭취하는 것으로 알려져 있다(Reilly[2002]). 비소를 경구적으로 섭취하게 되면 장관에서 흡수되는데 체내에 들어가면 SH기를 가진 단백질이나 효소와 결합하여 기능장애를 일으키는 것으로 알려져 있으며 전신 쇠약감, 신경통, 결막염, 피부의 색소 침착, 빈혈, 간종, 백혈구 감소 등으로 나타난다. 본 연구에서도 영덕대개의 내장에서 11.18 $\pm$ 3.93 mg/kg로 다소 높게 나타났다. Kim *et al.*[1998] 연구자들의 보고에 따르면 갑각류의 경우 다른 수산물에 비하여 유의적으로 비소 함량이 높게 나타났으나, 인체 내에서 arsenobetain과 같은 수용성 물질로 변하여 대부분이 배설되므로 체내에서 거의 문제되지 않는다고 보고되고 있다. 하지만 최근에 여러 가지 환경오염의 원인으로 인하여 수산물에 축적될 수 있는 무기비소의 문제점이 대두되고 있다. 비소화합물 중 무기비소는 축적독성을 나타내며, 아비산( $As_2O_3$ )은 가장 강력한 독성을 가지고 있는 것으로 알려져 있다. 비소는 인체 내 유입되었을 때 자연적으로 혹은 인위적으로 쉽게 분해되거나 제거되지 않고 축적되며, 식품에 유입되었을 때 간, 방광, 폐, 그리고 피부암 등의 심각한 건강상의 위해를 끼칠 우려가 있다(Rose *et al.*[2007]).

대개의 각 미량금속 농도 차이는 시료의 어획시기 및 어획장소, 서식지의 오염원 노출 또는 먹이사슬을 통한 금속의 생물농축 등의 차이에서 기인할 수 있으며, 차후 서식환경과 먹이사슬을 통한 미량원소의 순환연구가 지속될 필요가 있다.

## 사 사

본 연구는 교육과학기술부의 지역혁신인력양성사업과 국토해양부의 EAST-1 사업의 지원으로 수행되었습니다. 본 논문의 완성도를 높이는데 도와주신 심사위원들께도 감사의 뜻을 전합니다.

## 참고문헌

- [1] 김혜숙, 엄동민, 강경태, 오현석, 김진수, 허민수, 2004, “영덕 대게의 부위별 식품성분 비교”, 해양산업연구소논문집. 17, 59-63.
- [2] 김미혜, 이윤동, 박효정, 김은정, 이종욱, 2004, “유통 갑각류 중 중금속 함량”, 한국식품과학회지. 3, 375-378.
- [3] 서화중, 홍성운, 최종환, 1993, “남해안에 서식하는 수산물의 중금속 함량에 관한 연구”, 한국식품영양학회지. 22(1), 85-90.
- [4] 정길수, 2003, “수입어패류 중의 중금속함량에 관한 연구”, 여수대학교.
- [5] 해양수산부, 2002, 해양환경공정시험법, 1-330.
- [6] Ahearn, G.A., Mandal, P.K. and Mandal, A., 2004, “Mechanisms of heavy- metal sequestration and detoxification in crustaceans, a review”, Journal of Comparative Physiology Part B 174, 439-452.
- [7] Bryan, G.W. and Ward, E., 1965, “The absorption and loss of radioactive and non-radioactive manganese by the lobster, *Homarus vulgaris*”, Journal of Marine Biological Association, UK 45, 65-95.
- [8] Bryan, G.H., 1971, “The effects of heavy metals (other than mercury) on marine and estuarine organisms”, Proceedings of the Royal Society of London Series B, Biological Sciences 177, 389-410.
- [9] EU(European Union). 2005, Commission Regulation(EC) No 78/2005 as regards heavy metals. [http://europa.eu/in-dex\\_en.htm](http://europa.eu/in-dex_en.htm).
- [10] Kim, J.K and Han, T., 1999, “Effects of inorganic nutrients and heavy metals on growth and pigmentation of the green alga, *Ulva Pertusa kjellman*”, Kor. J. Environ. Biol, 17, 427-438.
- [11] Kim, A.J., Kim, S.Y., Lee, W.C. and Park, M.J., 1998, “Contents of arsenic in some fisheries caught in Western coast”, J. Food Hyg. Safety 13, 201-205.
- [12] Mok, J.S., Lee, K.J., Shim, K.B., Lee, T.S., Song, K.C., Kim, J.H., 2010, “Contents of Heavy Metals in Marine Invertebrates from the Korean Coast”, J. Kor. Soc. Food. Sci. Nutr. 39(6), 894-901.
- [13] Malins, D.C., McCain, B.B., Brown, D.W., Sparks, A.K. and Hodgins, H.O., 1980, “Chemical Contamination and Biological Abnormalities in Central and Southern Puget Sound”, NOAA Technical Memorandum, OMPA-2, pp. 295.
- [14] Mortimer, M.R., 2000, “Pesticide and trace metal concentrations in Queensland estuarine crabs”, Marine Pollution Bulletin 41, 7-21.
- [15] Paez Osuna, F., Tron Meyen, L., 1995, “Distribution of heavy metals in tissues of shrimp *Penaeus californiensis* from the north-west coast of Mexico”, Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 55, 209-215.
- [16] Rainbow, P.S., 1985, “Accumulation of Zn, Cu and Cd by crabs and barnacles, Estuarine”, Coastal and Shelf Sciences 21, 669-686.
- [17] Rainbow, P.S., 1990, Heavy metal levels in marine invertebrates, In Furness, R.W., Rainbow, P.S. (Eds.), Heavy Metals in the Marine Environment. CRC Press, Inc., Boca Raton, pp, 67-79.
- [18] Rainbow, P.S., 2007, “Trace metal bioaccumulation: models, metabolic availability, and toxicity”, Environment International, 33, 576-582.
- [19] Reilly, C., 2002, Metal Contamination of Food, Blackwell Science Ltd., London, UK. pp. 81-94.
- [20] Rose, M., Lewis, J., Langford, N., Baxter, M., Origgi, S., Barber, M., MacBain, H. and Thomas, K., 2007, “Arsenic in seaweed-froams, concentration, and dietary exposure”, Food Chem. Toxicol. 45, 1263-1267.
- [21] Sanders, J., Preez, H.H.D. and Van Vuren, J.H.J., 1998, “The freshwater river crab, *Potamonautes warreni*, as a bioaccumulative indicator of iron and manganese pollution in two aquatic systems”, Ecotoxicology and Environmental Safety 41, 203-214.
- [22] Stephen, C.J. and A. Sathy N., 2000, “Assessment of Heavy Metals in Red King Crabs Following Offshore Placer Gold Mining”, Marine Pollution Bulletin Vol. 40, No. 6, 478-490.
- [23] Sung, D.W. and Lee, Y.W., 1993, “A study on the content of heavy metals of marine fish in korean coastal water”, Kor. J. Food Hyg, 8, 231-240.
- [24] USFDA (United States Food and Drug Administration). 1993, Guidance Document for Cadmium in Shellfish. p1-44.
- [25] USFDA (United States Food and Drug Administration). 2001, Fish and Fisheries Products. Hazards and Controls Guidance. Third Edition. June 2001. USA.
- [26] Vernberg, F.J. and Vernberg, W., 1974, Multiple environmental factor effects on physiology and behavior of the fiddler crab, *Uca pugilator*. In: Vernberg, F.J., Vernberg, W.B. (Eds.), Pollution and Physiology of Marine Organisms. Academic Press, New York, pp. 381-425.
- [27] White, S.L. and Rainbow, P.S., 1985, “On the metabolic requirements for copper and zinc in mollusks and crustaceans”, Marine Environmental Review 16, 215-229.

---

2011년 1월 17일 원고접수

2011년 2월 10일(1차), 2011년 5월 18일(2차) 심사수정일자

2011년 6월 7일 게재확정일자