

남해안에서 서식하는 수산물의 중금속 함량에 관한 연구

서화중[†] · 홍성운 · 최중환

조선대학교 식품영양학과

Study on the Contents of Heavy Metals of Fishery Products in South Coast of Korea

Hwa-Jung Sheo[†], Sung-Wun Hong and Jong-Hwan Choi

Dept. of Food and Nutrition, Chosun University, Kwangju 501-759, Korea

Abstract

In this survey the results showing the highest values among the analyzed data of all specimens are summarized as follow. At Kwangyang bay Cu in the fishery was detected up to 1.208ppm and the level of Cu and Pb in sediment of this area were 2.13 and 4.34ppm, respectively. The contents of Hg in fishery and sediment of Yeosu bay were 0.102 and 0.032ppm. The levels of Pb in fishery and seawater of Suncheon bay were 0.039ppm and 0.013 μ g/L, respectively. At Posung bay the contents of Cd were 0.277ppm, 0.09 μ g/L and 0.08ppm in the specimens of fishery, seawater and sediment, respectively. The analyzed data of all specimens at Keamundo were very low level or undetectable. Of the 6 fishery samples, *Charybdis japonica* showed the upper level of Hg, Cu, Zn, Mn as 0.092, 1.905, 6.64, and 46.34ppm, respectively. The contents of Pb and Cd in *Batillus cornatus* were 0.045 and 0.38ppm respectively and other fishery had low level of heavy metal. In this study the contents of heavy metals analyzed in all specimens showed nearly natural occurrence level which is under the legal limits.

Key words : heavy metals, south coast of Korea

서 론

우리나라는 70년대 이후 고도의 경제성장을 이루는 과정에서 전국 연안에 수많은 공업단지가 건설되어 연안해역은 여러가지 산업폐수와 도시하수의 유입으로 오염이 가속되고 이로 인한 수산어패류의 오염문제가 크게 우려되는 수준에 와 있다. 중금속류는 농도의 고하를 막론하고 해수를 오염시켜 프랑크톤이 1차적으로 오염되고 생태계의 먹이사슬을 통하여 점차 농축되어 공해병의 원인이 됨으로 오염물질로부터 환경을 지키는 것은 각국의 큰 과제이다. 우리나라는 그동안 경제 발전 우선 지향 정책과 제반 산업활동의 적극화에 따라 환경문제는 소홀이 되어왔다. 그간 많은 양의 도시 하수와 각종 산업 폐수가 바다에 유입되어 왔으며, 특히 임해공단내 가동중인 기존 공

장들 외에 새로운 공장들이 조성되어 바다 오염원은 날로 크게 증가하고 있다. 그 결과 지역에 따라서는 오염 물질 부하가 바다의 자정능력¹⁾의 한계를 넘어선 상태이며 더욱 적조 발생 등으로 해산물의 생산성에도 큰 타격을 주고 있다. 국내에서는 김 등^{2,3)}, 원⁴⁾, 이⁵⁾, 황⁶⁾, 이 등⁷⁾, 권 등^{8,9)}, 백 등¹⁰⁾, 박 등¹¹⁾이 해산물의 중금속 오염 실태를 조사하였고, 담수어종의 중금속 함량에 관한 보고^{12,18)}도 다수 볼수 있다. 현재까지 우리나라 연안수역의 어패류의 중금속 오염실태 조사에서 주목되는 점은 오염도가 매년 증가 일로에 있다는 사실이다.

선진국들은 농·축·수산물 식품의 오염물질 monitoring^{19,20)} 사업이 활발하고 특히 어패류의 품종별 유해 중금속 함량을 파악하고 대책을 수립하는데 많은 노력을 기울이고 있다. 그러나 우리나라는 그동안 환경보전 사업이 단편적이고 전국적인 중금속 오염의 기준치도 아직 파악하지 못하고 있는 실정임으로 앞으로 장기적

[†]To whom all correspondence should be addressed

인 환경 보건 계획에 의한 monitoring구축이 절실하다.

저자는 1992년 하절기 여천공단과 광양제철소가 인접하여 오염 예상지역으로 생각되는 광양만과 여수만, 오염도가 비교적 낮을 것으로 생각되는 순천만과 보성만, 그리고 비오염지역이라고 생각되는 거문도 인근 수역에서 생산되는 이동성이 적은 계류, 새우류, 패류, 해조류 그리고 해수와 sediment의 수은, 납, 카드뮴, 구리, 아연, 망간의 함량을 분석하여 보고 한다.

재료 및 방법

조사 대상지역 및 시료채취

1992년 하절기(7~8월)에 광양만, 여수만, 순천만, 보성만, 거문도 부근 연안 현지에서 어획한 민꽃게 (*Charybdis japonica*), 꽃새우 (*Trachypenaeus curvirostris*), 바지락 (*Ruditapes philippinarum*), 소라 (*Batillus cornutus*), 청각 (*Codium fragile*), 툯 (*Hizikia fusiforme*) 6종의 수산물 시료를 채취하고 이와 함께 해수와 sediment를 시료병에 취하여 아이스 박스에 냉장한 후 실험실로 운반하였다.

측정시약 및 기구

수은을 비롯한 중금속의 분석용 표준 시약은 Junsei Chemical Co. 제품을 사용하였고 기타 시약은 Merck

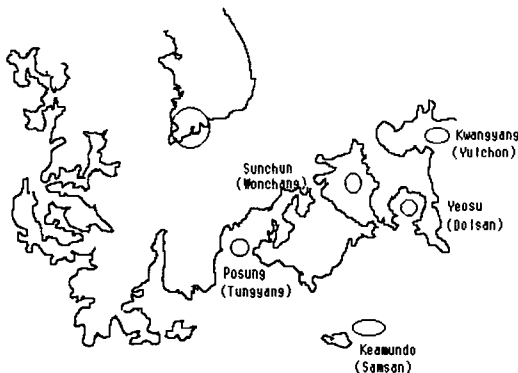


Fig. 1. Sampling sites.

제 순품을 사용하였다.

분석기기 : Hg은 mercury analyzer (Rigaku Mercury Analyzer Sp3, Japan)을 이용했고, Pb, Cd, Cu, Zn, Mn은 atomic absorption spectrophotometer (Varian Techtron Model Spectra AA-300A)를 사용하였다.

시료

수산물시료는 증류수 세척 후 homogenizer로 균질화시키고 해수는 1/100용량으로 농축 후 시료로 사용하였다. 갯벌시료는 dry oven내에서 건조시킨 후 분말로하여 9mesh 체를 통과한 미세분말을 함량진조하여 시료로 사용하였다.

수은분석

Mercury analyzer을 이용하여 다음 Table 1의 조건에 따라 상기 시료를 가열, 기화, 금아말감법²⁾ (Combution Gold Amalgamation Method)으로 측정하였다.

Table 1. The operation condition of Rigaku mercury analyzer Sp3

Classification	Standard solution (1μl/ml)	Analyzing sample (raw and wet)
Sample amount	20,40,60,80 μl	50~300mg or *0.5ml
Heating condition mode selector	High	Low
Pannel time 1st step	1 min.	4 min.
2nd step	3 min.	6 min.
Additive	Unnecessary	**M+S+M+B+M
Washing liquid	Distilled deionized water	
Measuring range	100mg	200mV
Gas flow rate combustion***	0.5	
carrier (μl/min.)	0.3	

*0.5ml : Sea water sample

**M : Sodium carbonate(anhydrous) : Calcium hydroxide =1 : 1(w/w)

B : Aluminium oxide

S : Sample

M, B : Additive should be used at room temperature after heating at 800° C for 2 hrs

*** Purified air

Table 2. The operation condition of atomic absorption spectrophotometer*

Condition \ Element	Cu	Pb	Mn	Cd	Zn
Wave length (nm)	327.4	217.0	279.5	228.8	213.9
Lamp current (mA)	4	5	5	4	5
Slit width (nm)	0.2	1.0	0.2	0.5	1.0
Fuel	Acetylene	Acetylene	Acetylene	Acetylene	Acetylene
Support	Air	Air	Air	Air	Air
Flame stoichiometry	Oxidizing	Oxidizing	Oxidizing	Oxidizing	Oxidizing

*Varian Techtron Model Spectra AA-300A

Pb, Cd, Cu, Mn, Zn 분석²¹⁾

다음 Table 2의 조건에 따라 수산물과 갯벌시료는 약 5g을 정량하여 HNO₃(5ml)와 H₂SO₄(10ml)을 가한 flask내에서 분해 후 증류수를 가해 50ml로한 시험액으로 조제하고 해수 농축 시료는 직접 시험액으로 하여 원자흡광분석에 이용하였다.

결과 및 고찰

수산물과 해수 및 갯벌의 중금속 함량 분석결과는 Table 3, 4 및 5와 같다.

Hg

전지역의 해수에서는 검출되지 않았고, 수산물 평균은 민꽃게 0.092, 바지락 0.081, 꽃새우 0.066, 톳 0.033, 소라 0.033, 청각이 0.021ppm이었다(Table 3). 해역별 수산물 평균은 여수만 0.102, 보성만 0.077, 광양만 0.05, 순천만 0.047ppm이고 거문도는 거의 검출되지 않았다(Table 3). 이는 우리나라 식품위생법²⁵⁾의 어패류(심해성 어패류 및 참치류 제외)의 수은 잔류허용기준치 0.7ppm보다는 매우 적은 양이다. FAO 보고사에서 어패류의 수은 규제치²³⁾는 호주 0.5~1.0ppm, 캐나다, 뉴질랜드, 스위스 등이 0.5ppm, 서독, 미국 1.0

Table 3. Contents of heavy metals in fishery products at south coast of Korea (Unit : ppm), (wet basis)

Sample		Ch. j.	Tr. c.	Ru. p.	Ba. c.	Co. f.	Hi. f.	Average*
Kwangyang bay (Yulchon)	Hg	0.111	0.049	0.036	0.028	0.017	0.061	0.050
	Cu	2.165	1.508	0.750	2.093	0.178	0.553	1.208
	Pb	ND	ND	0.020	0.015	0.047	ND	0.016
	Zn	9.350	9.770	9.750	4.600	0.500	0.400	5.720
	Cd	ND	0.045	0.068	0.018	0.050	0.065	0.041
	Mn	81.438	3.068	2.203	1.681	2.263	2.043	15.439
Yeosu bay (Dolsan)	Hg	0.073	0.175	0.279	0.022	0.025	0.039	0.102
	Cu	2.625	1.76	0.861	0.488	0.193	0.470	1.067
	Pb	ND	ND	0.030	0.043	0.057	ND	0.021
	Zn	8.938	9.98	7.108	4.063	0.605	1.203	5.315
	Cd	0.035	0.008	0.100	0.270	0.020	0.098	0.089
	Mn	36.719	9.855	5.733	1.440	2.063	4.910	10.120
Suncheon bay (Wonchang)	Hg	0.068	0.044	0.032	0.053	0.021	0.046	0.047
	Cu	1.719	0.348	0.032	0.053	0.021	0.046	0.540
	Pb	ND	ND	0.081	0.075	0.060	0.018	0.039
	Zn	6.750	7.150	8.298	4.800	0.393	0.598	4.663
	Cd	0.028	0.035	0.078	0.313	0.005	0.198	0.109
	Mn	61.563	1.695	2.893	0.835	26.344	0.835	15.694
Bosung bay (Tungyang)	Hg	0.211	0.065	0.050	0.064	0.026	0.046	0.077
	Cu	1.718	2.350	0.860	0.898	0.218	0.458	1.083
	Pb	ND	ND	0.035	0.093	0.008	ND	0.022
	Zn	6.030	2.560	6.890	6.030	0.450	1.520	3.913
	Cd	0.075	0.083	0.150	0.940	0.080	0.335	0.277
	Mn	24.313	1.888	0.858	0.873	2.183	4.048	5.861
Keamundo (Samsan)	Hg	ND	ND	0.010	ND	0.010	ND	ND
	Cu	1.300	0.970	0.635	0.483	0.865	0.755	0.834
	Pb	ND	ND	ND	ND	ND	0.008	ND
	Zn	2.713	1.031	0.995	1.900	0.220	1.400	1.449
	Cd	0.005	0.033	0.010	ND	0.065	0.050	0.027
	Mn	27.688	2.545	3.033	0.385	6.710	4.690	7.509
Average **	Hg	0.092	0.066	0.081	0.033	0.021	0.033	0.055
	Cu	1.905	1.380	0.702	0.968	0.318	0.946	0.946
	Pb	ND	ND	0.034	0.045	0.043	ND	0.019
	Zn	6.640	6.098	6.608	4.270	0.429	1.024	2.865
	Cd	0.028	0.041	0.081	0.380	0.044	0.149	0.120
	Mn	46.344	3.810	2.944	1.030	7.900	3.300	10.920

Ch. j. : *Charybdis japonica*, Tr. c. : *Trachypenaeus curvirostris*

Ru. p. : *Ruditapes philippinarum*, Ba. c. : *Batillus cornutus*

Co. f. : *Codium fragile*, Hi. f. : *Hizikia fusiforme*

Average* : In region, average** : In product

ND : Not detected

Table 4. Contents of heavy metals in seawater at south coast of Korea

(Unit : $\mu\text{g}/\text{dl}$)

Sampling site	Kwangyang bay (Yulchon)	Yeosu bay (Dolsan)	Sunchon bay (Wonchang)	Posung bay (Tungyang)	Keamundo (Samsan)	Average
Hg	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cu	0.140	0.160	0.118	0.195	0.110	0.144
Pb	ND	0.007	0.013	ND	ND	0.010
Zn	0.040	ND	0.123	ND	0.050	0.108
Cd	0.063	0.075	0.078	0.090	ND	0.071
Mn	0.093	0.050	0.055	0.050	0.021	0.053

Table 5. Contents of heavy metals in sediment at south coast of Korea

(Unit : ppm), (wet basis)

Sampling site	Kwangyang bay (Yulchon)	Yeosu bay (Dolsan)	Sunchon bay (Wonchang)	Posung bay (Tungyang)	Keamundo (Samsan)	Average
Hg	0.030	0.032	0.027	0.021	0.012	0.024
Cu	2.130	1.740	1.200	1.340	0.910	1.282
Pb	4.340	1.840	1.090	3.690	0.900	2.192
Zn	10.370	9.390	4.350	3.830	2.375	6.063
Cd	0.040	0.020	0.039	0.080	ND	0.045
Mn	93.625	342.375	149.625	497.875	28.560	222.412

ppm 이하, 이태리 0.7ppm, 일본 0.4ppm 이하, 스웨덴 2.0ppm 이하 등 대략 0.2~2.0ppm 이하로 본 조사치는 외국의 규제치 보다 훨씬 낮다. 환경청의 해역별 수질 기준²²⁾에서 해수는 수은이 검출되어서는 안되며 본 조사에서도 검출되지 않았다. Sediment는 여수만 0.032, 광양만 0.03, 순천만 0.027, 보성만 0.021, 거문도 0.012ppm순이었다. 본 실험치는 김²⁾의 부산지역 청각 0.29ppm, 원⁴⁾ 등의 충무지역 민꽃게 0.09ppm, 소라 0.130ppm, 바지락 0.030~0.280ppm, 백 등¹⁰⁾의 마산지역 바지락 0.88, 소라 0.011~0.122ppm의 수은량 보다 훨씬 낮고 본 조사에서 패류와 지질의 관련성은 발견하지 못하였다.

Cu

수산물 평균은 민꽃게 1.905, 꽃새우 1.38, 소라 0.968, 톳 0.946, 바지락 0.702, 청각 0.318ppm 순위이고 (Table 3), 민꽃게, 꽃새우의 Cu량이 높은 것은 갑각류의 hemocyanin 혈액색소가 Cu를 함유하기 때문인것 같다. 해역별 수산물 평균은 광양만 1.208, 보성만 1.083, 여수만 1.067, 거문도 0.834, 순천만 0.54ppm이었다 (Table 3). 해역별 해수는 보성만 0.195, 여수만 0.16, 광양만 0.14, 순천만 0.118, 거문도 0.11 $\mu\text{g}/\text{L}$ 으로 (Table 4), 해수와 상수원 수질 등급기준의 0.02 $\mu\text{g}/\text{L}$ 이하에 비해 매우 낮다. 이 등²⁴⁾이 보고한 광양만 해수의 Cu량 1.08 $\mu\text{g}/\text{L}$ 보다 낮았다. Sediment는 광양만 2.13, 여수만 1.74, 보성만 1.34, 순천만 1.2, 거문도 0.91ppm-

이었다 (Table 5). 본조사에서 수산물 Cu함량은 백 등¹⁰⁾이 조사한 마산지역의 0.04~3.74ppm과 수산진흥원²⁵⁾에서 조사한 부산지역의 0.25~10.25ppm, 원⁴⁾이 조사한 충무지역의 민꽃게 24.43ppm, 바지락 1.22~1.74ppm, 소라 7.3ppm, 김²⁾이 조사한 부산지역의 청각 6.84ppm 보다는 낮은 값을 보였다. 수산물의 Cu 규제치²³⁾를 호주 7.0ppm, 캐나다 50ppm, 뉴질랜드 30ppm, 영국이 20ppm으로 대부분 높게 잡고 있어 조사된 Cu량은 우려할 만한 수준이 아닌것 같다.

Pb

수산물의 종류별 평균은 소라 0.045, 청각 0.043, 바지락 0.034ppm이었다 (Table 3). 해역별 수산물 평균은 순천만 0.039, 보성만 0.022, 여수만 0.021, 광양만 0.016ppm순이고 거문도는 거의 검출되지 않았다 (Table 3).

해역별 해수는 순천만 0.013, 여수만 0.007 $\mu\text{g}/\text{L}$ 이고 다른 곳은 검출되지 않았다 (Table 4). 이를 우리나라 해역 수질 등급기준²²⁾ 0.1mg/L이하와 비교시 훨씬 낮은 양이고 남해안에서 조사한 해양경찰청의²⁶⁾ 0.43~1.48 $\mu\text{g}/\text{L}$ 와 비교해도 본 조사치는 낮은 편이었다. Sediment는 광양만 4.34, 보성만 3.69, 여수만 1.840, 순천만 1.09, 거문도 0.9ppm순이었다 (Table 5). 우리나라 어패류의 Pb잔유 허용기준²¹⁾(심해성 어패류와 참치 제외)은 2ppm 이하이고 외국 규제치²³⁾는 호주 1.5~5ppm, 캐나다 0.5~1ppm, 폴란드 2.0ppm, 홍콩 0.

6ppm, 이태리 2.0ppm, 뉴질랜드 0.5~2ppm, 스웨덴 1.0~2.0ppm, 스위스 0.1~1.0ppm인데 본 조사에서 수산물 Pb량은 외국의 규제치에 훨씬 미달하였고 田中⁵⁾이 보고한 일본산 바지락 0.65ppm과 수산물에 대한 백등¹⁰⁾이 조사한 마산해역의 ND~1.87ppm, 수산진흥원²⁵⁾이 조사한 부산지역의 ND~2.65ppm, 원⁴⁾이 조사한 충무지역의 0.06~3.40ppm 보다 훨씬 낮았다. 본 조사된 수산물의 납함량은 오염 보다는 자연함량 수준이라 볼 수 있다.

Zn

수산물의 평균량은 민꽃게 6.64, 바지락 6.61, 꽃새우 6.1, 소라 4.27, 톳 1.024, 청각 0.429ppm이었다 (Table 3). 박 등¹¹⁾이 보고한 서해안 어패류 3.224~98.812ppm과 권 등⁸⁾의 남해안 어패류 3.41~12.62ppm보다 낮았다. 해역별 수산물에서 광양만 5.72, 여수만 5.31, 순천만 4.66, 보성만 3.913, 거문도 1.449ppm순이었다 (Table 3). 해역별 해수는 순천만 0.123, 거문도 0.05, 광양만 0.04 $\mu\text{g/L}$ 이었고, 여수만과 보성만은 검출되지 않았다 (Table 4). 우리나라의 연안 수질 기준²²⁾은 Zn 0.1mg/L이하이다.

본 해수 조사치는 해양 경찰청²⁶⁾이 남해안에서 측정 한 5.5~30.7 $\mu\text{g/L}$ 와 이 등²⁷⁾이 조사한 하절기 여수연안의 4.5~67.6 $\mu\text{g/L}$, 원 등²⁸⁾이 보고한 울산만 ND~21.8 $\mu\text{g/L}$ 및 조 등²⁹⁾의 온산 연안 28.6 $\mu\text{g/L}$ 와 비교시 매우 낮았다. Sediment는 광양만 10.37, 여수만 9.39, 순천만 4.35, 거문도 2.375ppm순이었다 (Table 5). 외국의 Zn규제치²³⁾는 영국 50ppm, 뉴질랜드 40ppm이다.

Cd

수산물 평균은 소라 0.38, 톳 0.149, 바지락 0.081, 청각 0.044, 꽃새우 0.041, 민꽃게 0.028ppm이었다 (Table 3). 해역별 수산물 평균은 보성만 0.277, 순천만 0.109, 여수만 0.089, 광양만 0.041, 거문도 0.027ppm순이었다 (Table 3). 해역별해수는 보성만 0.09, 순천만 0.078, 여수만 0.075, 광양만 0.063 $\mu\text{g/L}$ 이고 거문도는 검출되지 않았다 (Table 4).

우리나라 해수 수질 기준은²²⁾ 0.01 $\mu\text{g/L}$ 이하이고 국립수산진흥원²⁵⁾보고에서 여수 연안의 0.2~0.4 $\mu\text{g/L}$ 에 비해 본 조사치 0.075 $\mu\text{g/L}$ 는 매우 낮았다. Sediment는 보성만 0.08, 광양만 0.04, 순천만 0.039, 여수만 0.02ppm이고, 거문도는 검출되지 않았다 (Table 5). Cd의 외국 규제치²³⁾는 오스트레일리아 2.0~5.5ppm, 서독 5.0ppm, 홍콩 2.0ppm, 뉴질랜드 0.05~1.0ppm, 스위스

0.1ppm이다. 박 등¹¹⁾이 서해안 어패류에서 0.007~1.174ppm, 백 등¹⁰⁾이 마산지역에서 ND~0.088ppm, 수산진흥원²⁵⁾이 부산지역에서 0.01~4.50ppm, 원⁴⁾이 충무지역에서 0.02~0.52ppm을 조사보고 하였다.

Mn

수산물 평균은 민꽃게 46.344, 청각 7.9, 꽃새우 3.81, 바지락 2.944, 소라 1.03ppm순이었다 (Table 3). 해역별 수산물 평균치는 순천만 15.694, 광양만 15.439, 여수만 10.12, 거문도 7.509, 보성만 5.861ppm순이었다 (Table 3). 해역별 해수는 광양만 0.093, 순천만 0.55, 여수만과 보성만 0.05, 거문도 0.021 $\mu\text{g/L}$ 순이었다 (Table 4). 우리나라 연안해역 수질기준²⁶⁾에서 Mn은 기준이 없다.

Sediment는 보성만 497.875, 여수만 342.375, 순천만 149.625, 광양만 93.625, 거문도 28.56ppm순이었다 (Table 5). 임 등³⁰⁾이 남해안 퇴적물에서 500ppm까지 보고 하였다. 패류의 Mn기준¹¹⁾은 0.1mg/L로 되어 있다. 본 실험치는 박 등¹¹⁾이 보고한 서해안 어패류 0.164~9.908ppm, 권 등⁸⁾, 백 등¹⁰⁾이 조사한 마산연안 패류종의 1.04~7.02ppm보다는 높았다.

요 약

광양만 여수만 순천만 보성만 거문도에서 어획한 수산물과 수질 및 sediment의 중금속 함유 실태를 조사하여 다음과 같은 결과를 얻었다. 지역별로는 광양만의 수산물에서 Cu를 최고 1.208ppm 그리고 sediment에서 Cu와 Pb를 각각 최고 2.13, 4.34ppm을 검출 하였다. 여수만의 수산물과 sediment에서 Hg를 각각 최고 0.102, 0.032ppm을 검출 하였다. 순천만의 수산물과 해수에서 Pb를 각각 최고 0.039ppm, 0.013 $\mu\text{g/L}$ 검출하였다. 보성만의 수산물과 해수 및 sediment에서 Cd를 각각 최고 0.277ppm, 0.09 $\mu\text{g/L}$, 0.08ppm 검출 하였다. 거문도는 측정된 중금속 함량 수준이 제일 낮아 거의 청정해역이었다. 수산물 종류 별로는 민꽃게에서 Hg, Cu, Zn, Mn을 각각 최고 0.092, 1.905, 6.64, 46.34ppm을 검출하고 소라에서 Pb, Cd를 각각 최고 0.045, 0.38ppm을 검출하였다. 기타 꽃새우, 바지락, 청각, 톳은 중금속 함량수준이 낮았다. 조사한 5개지역의 수산물, 해수 및 sediment의 중금속 함량은 국내외의 중금속 허용 기준치를 벗어나지 않으므로 오염에 대한 우려는 없었다.

문헌

1. 박태조 : 연안어장 환경 갈수록 오염. 새어민, 1, 26 (1992)
2. 김장완 : 한국산 주요 식용 해조류중의 수은, 카드뮴, 납 및 구리의 함량. 한수지, 5(3), 88(1972)
3. 김장완, 원종훈 : 수영만 양식미역, 모자반 및 환경해수의 수은, 카드뮴, 납, 구리의 농도에 대하여. 한수지, 7(3), 169(1974)
4. 원종훈 : 한국산 어패류중의 수은, 카드뮴, 납, 구리의 함량. 한수지, 6, 125(1973)
5. 이용호 : 바지락 중금속 함량의 시기적 변화. 한수지, 8(2), 175(1975)
6. 황규철 : 한산, 거제만 굴, 진주 담치 및 해수의 중금속 함량. 부산수대 연보, 124(1), 121(1984)
7. 이수행, 이광우 : 한국연안 진주 담치의 중금속 함량. 육수학회지, 19(2), 111(1984)
8. 권우창, 원경동, 김준환, 김오한, 소유섭, 김영주, 박전상, 성덕화, 이정진, 이만술, 백덕우 : 식품중의 미량 금속에 관한 연구(연안어류중의 중금속 함유량에 관하여). 국립보건원보, 24, 733(1987)
9. 권우창 외 24인 : 식품중의 미량 금속에 관한 조사연구(연안어류중의 미량금속함유량에 관하여). 국립보건원보, 26, 447(1989)
10. 백덕우 외 19인 : 식품중의 미량 금속에 관한 조사연구(연안패류중의 중금속 함유량에 관하여). 국립보건원보, 25, 551(1988)
11. 박재홍, 허남철, 최정철, 김영국, 안양준, 오금순, 송병준, 양호철, 이성자, 박상수 : 서해(목포) 연안에서 서식하는 어패류중의 중금속 함량에 관한 연구. 보건환경연구원보, 4, 30(1992)
12. 홍사욱, 홍종록 : 한강유역 어류중의 중금속 분포에 관한 연구. 육수학회지, 15, 7(1982)
13. 김영희, 박성배 : 담수어중의 총 수은 함량에 관한연구(1), 수중의 금강상류 담수어에 대하여. 육수학회지, 14, 13(1981)
14. 정원태 : 낙동강 유역의 수질 및 담수어중 총수은 함량에 관한 연구. 중앙대학교 대학원 석사학위 논문, p.30(1985)
15. 엄경숙, 송민영, 정재춘, 정용 : 수은, 납, 카드뮴, 크롬, 이온이 송사리에 미치는 특성에 관한 연구. 환경학회지, 13, 62(1987)
16. 손동현, 정원태 : 낙동강유역의 수질 및 담수어중 총수은 함량에 관한 연구. 수질보전학회지, 4(2), 48(1988)
17. 서화중, 홍석순, 김충모 : 영산강에서 서식하는 담수어의 중금속 함유량에 관하여. 한국영양식량학회지, 20(6), 620(1991)
18. 이중기, 정경모, 강광석, 박귀환, 김현주 : 영산강에서 서식하는 담수어중의 중금속 함유량에 관한 조사연구. 보건환경연구원보, 제4호, p.91(1992)
19. David, A. W. and Craig, D. Z. : Use of oysters as indicators of copper contamination in the Patuente river. *Hydrobiol.*, 222, 48(1991)
20. Villarreal-Trevino, C. M. : Bioaccumulation of lead, copper and zinc by fish in the Santana Catarina River. *Bull. Environ. Contam.*, 37, 395(1986)
21. 보건사회부 : 식품공전, p.466(1991)
22. FAO : Comilition of logal limitm for hazarctous anbxntancz in fish and Fishory product, FAO, Rome, (1983)
23. 환경청 : 해역별 수질 등급 기준. 환경청고시, 90, 9(1990)
24. 이수행, 김은주, 김석현, 오재룡, 이광우 : 평양만 표층해수중의 중금속 함량. 해양학회지, 21(3), 125(1986)
25. 국립수산진흥원 사업보고 : 한국 연안어장 보전을 위한 환경 오염 조사 연구. p.514(1983)
26. 해양경찰청 : 시험연구보, p.115(1990)
27. 이광우, 광희상, 이수행, 이동수 : 여름철 한국 연안해수중의 중금속함량. 해양학회지, 14(1), 5(1979)
28. 원종훈, 박충길, 양한섭 : 울산만 해수중의 수은, 카드뮴, 구리, 납, 아연의 농도분석. 한수지, 9(3), 177(1976)
29. 조현서, 박청길, 변종율 : 온산연안해역의 중금속 오염에 관한 연구. 수질보전학회지, 14(2), 31(1988)
30. 임동일 : 경기만 반월 조간대 퇴적물중 망간과 구리의 함량 특성 연구. 전남대학교 대학원 석사학위 논문, p.60(1992)

(1992년 12월 3일 접수)