

경남 사량도 연안 패류양식해역의 표층퇴적물 내 유기물 및 중금속 분포특성

조상만¹, 강주현², 정우건³

¹군산대학교 해양과학대학 해양생명과학과, ²(주)코리아오션리서치, ³경상국립대학교 해양과학대학 양식생명과학과

Distribution Characteristics of Organic Matter and Heavy Metals in Surface Sediments of Shellfish Farming Area in Saryangdo, Gyeongsangnam-do, Korea

Sang-Man Cho¹, Ju-Hyun Kang² and Woo-Geon Jeong³

¹Department of Aquaculture and Aquatic Science, Kunsan National University, Gunsan 54150, Republic of Korea

²Korea Ocean Research, Tongyeong 53003, Republic of Korea, Republic of Korea

³Department of Aquaculture science, Gyeongsang National University, Tongyeong 53064, Republic of Korea

ABSTRACT

To characterize the contamination state of shellfish farming waters around Saryangdo Island, the surface sediment was evaluated for Acid Volatile Sulfide (AVS), organic matter (ignition loss and chemical oxygen demand), and heavy metals (Al, Cd, Cu, Fe, Ni, Pb and Zn). AVS was relative low all the sampling sites except station 1 influenced by low current velocity at open sea, as well as organic matter was the highest at Station 2 influenced from fish cage. The trace elements (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) showed relatively low level at the narrow channel in Station 3-6, but the highest at Station 7 near Gumpyeong port in Saryang Island. The concentration of metal was satisfied the criteria of TEL and PEL in all metal elements. For Igeo, Zn was strongly polluted at all stations, as well as, the sediments were polluted with excess of 1.0 for PLI. ERI represented relatively low risk at all sampling sites. The finding indicated that the study waters was relatively low contaminated because of low sedimentation at narrow channel between Sarayang Islands.

Key Words : Shellfish farm, Heavy metal, Surface sediment, Enrichment factor, Ecological risk index

서론

경남 통영시 사량도해역은 굴, 피조개 등 다양한 패류양식이 성행하는 해역이다. 굴은 여과섭식 활동을 통해 해수 중의 중금속 등 각종 유해물질들도 생물축적하고, 분 (Feces) 과 위분 (Pseudofeces) 에 의해 표층 퇴적물의 오염도를 증가시킨다

(Danovaro *et al.*, 2004; Baek *et al.*, 2008; Cho, 2013). 유기물오염의 증가는 저서동물 군집변화의 변화를 초래하고, 호기성 박테리아의 증식으로 인한 빈산소 수괴를 생성을 초래함으로써 2차적인 피해를 유발할 수 있다 (Cranford *et al.*, 2009). 생물농축된 중금속은 난분해성, 잔류오염물질로 생체독성을 지니므로 유해 환경물질로 구분되고 있다 (Ruilian *et al.*, 2008; Billah *et al.*, 2017). 일반적으로 중금속은 지각의 풍화와 침식작용을 통해 자연적으로 배출되기도 하지만, 대부분의 환경오염은 제련소, 제철소, 금속 제품을 생산하는 각종 공장 및 매연, 폐수, 도시하수, 광산 등에서 유래한 육상오염원의 유입에 의해 이뤄진다 (Jeong *et al.*, 2017). 연안으로 유입된 중금속은 동식물플랑크톤과 같은 입자성 물질에 흡수 흡착되어 먹이망을 통해 생물축적되고 일부는 자연적으로 침강되므로 퇴적물에 흡착된 중금속 농도는 해수중 농도에 비해 10^3 - 10^5 배 정도 높다 (Zabetoglou *et al.*, 2002; Santos *et*

Received: March 15, 2023; Revised: March 21, 2023;
Accepted: March 30, 2023

Corresponding author: Woo-Geon Jeong

Tel: +82 (55) 772-9150, e-mail: jwg@gnu.ac.kr
1225-3480/24835

This is an Open Access Article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License with permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproducibility in any medium, provided the original work is properly cited.

Table 1. Sediment quality guideline for threshold effect level (TEL) and Probable effect level (PEL)

	(Unit : mg/kg)				
	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn
Threshold Effect Level (TEL)	0.75	20.6	47.2	44.0	68.4
Probable Effect Level (PEL)	2.72	64.4	80.5	119	157

al., 2005). 표층 퇴적물에 축적된 중금속은 물리 화학적 특성 변화에 따라 수중으로 용출되어 수계생물에 영향을 미치며, 저서생태계 먹이사슬을 통해 수생생물뿐만 아니라 인간의 건강에도 심각한 영향을 미칠 수 있다 (Zoumis et al., 2001). 따라서 국내외적으로 연안해역의 퇴적물 오염도 평가를 실시하고 있다. 미국 환경청 (EPA) 은 퇴적환경지표 (Sediment quality index) 를 규정하여 평가하고 있으며 (Virginia et al., 2012), 일본 (JFRCA, 2006) 과 국내의 경우, 어장환경기준을 설정하여 수질과 퇴적물기준을 산정하여 관리하고 있다.

국내 패류 양식해역 표층 퇴적물의 유기물 및 중금속에 관한 연구들이 진행되고 있으며, 조사해역 인근 자란만 패류양식해역 (Hwang et al., 2018; Cho et al., 2020), 고성만 패류양식해역 (Kang et al., 2012; Lee et al., 2017), 진해만 (Chan-Won and Young-Tack, 1994; Lee and Kim, 2000; Choi et al., 2017) 패류양식해역에서 각각 보고되었다. 하지만 통영 사량도 패류생산해역의 퇴적물 오염현황에 대한 연구는 미비한 실정이다. 따라서 이 연구는 패류양식어장이 밀집하고 있는 경남 통영시 사량도 패류양식장 표층 퇴적물의 유기물과 중금속 농도를 조사하여, 오염도 평가를 하였으며, 이에 따라 패류 양식장 환경평가와 해역관리의 기초자료로 제공하고 하였다.

재료 및 방법

1. 시료채취 및 퇴적물 분석

경남 사량도 패류 양식해역의 퇴적물 환경특성 및 중금속 오염현황을 파악하기 위해 2020년 5월, 7월, 9월, 11월에 선박을 이용하여 10개 조사지점에서 코어 채취기 (Gravity core sampler) 로 표층 퇴적물을 채취하였다 (Fig. 1). 채집된 저질 시료 중 상부 5 cm 부분만을 500 ml 용량의 플라스틱 용기에 담고 저운을 유지하면서 경상국립대학교 해양생물교육연구센터로 운반하였다. 운반된 시료는 즉시 분석하였고, 분석항목은 함수율 (Water Content, WC), 강열감량 (Ignition loss, IL), 휘발성황화물 (Acid Volatile Sulfide, AVS), 화학적 산소요구량 (Chemical Oxygen Demand, COD) 및 중금속 7종 (Al, Cd, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn) 을 분석하였다. 함수율은 습

시료를 110℃ 항량이 될 때까지 건조시켜 무게차로 측정하였고, AVS는 황산을 이용하여 검지관법으로 측정하였다. IL은 건조된 퇴적물을 550℃의 강열처리 후 소실된 무게의 차를 이용하여 계산하였고, COD는 과망간산칼륨법으로 측정하였다. 중금속 (Al, Cd, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn) 은 동결건조한 퇴적물 약 200g을 막자사발에 균질화하여 63 μm (40) 의 체로 분리한 세립 퇴적물을 이용하였다. 혼합산 (불소, 질산 및 과염소산) 으로 완전분해법 방법으로 용해한 후, 유도결합플라즈마 분광분석기 (ICP-OES) 로 분석하였다.

2. 중금속 오염평가

퇴적물의 독성영향성 도출을 위해 생물영향자료를 기반으로 한 주의기준 (Threshold effect level, TEL) 과 관리기준 (Probable effects level, PEL) 을 적용하여 영향성을 평가하였다 (Table 1). 농집지수 (Geoaccumulation index, Igeo) 는 연구해역의 퇴적물 중 오염되지 않는 미량금속 농도를 배경농도로 오염정도를 정량화하는 방법으로 계산하였다 (Müller and Suess, 1979). 그리고 서로 다른 지각에 존재하는 금속

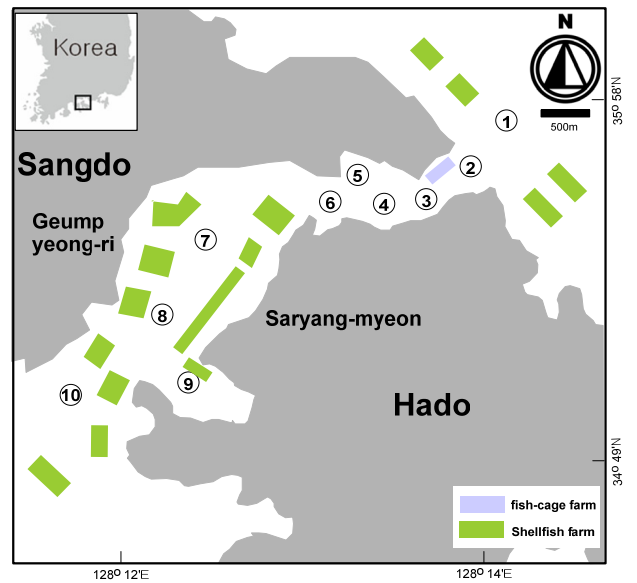


Fig. 1. A map showing sampling sites for the surface sediments near Saryang Island.

Table 2. Criteria of PLI, ERI, and Igeo assessment for trace metals in the sediment

Index	Contamination categories (Pollution levels)
Geo-accumulation index (Igeo)	Igeo class = 0 (Igeo value: < 0): unpolluted
	Igeo class = 1 (Igeo value: 0-1): unpolluted/moderately polluted
	Igeo class = 2 (Igeo value: 1-2): moderately polluted
	Igeo class = 3 (Igeo value: 2-3): moderately to strongly polluted
	Igeo class = 4 (Igeo value: 3-4): strongly polluted
	Igeo class = 5 (Igeo value: 4-5): strongly to very strongly polluted
Pollution load index (PLI)	Igeo class = 6 (Igeo value: > 5): very strongly polluted
	PLI > 1 : polluted, PLI < 1 : no pollution
Ecological risk index (ERI)	ERI < 100 : low risk
	100 ≤ ERI < 150 : moderate risk
	150 ≤ ERI < 200 : considerable risk
	200 ≤ ERI < 300 : very high risk
	ERI ≥ 300 : disastrous risk

의 배경농도를 보정하기 위한 지수로 1.5를 곱하여 주었으며 (Stoffers *et al.*, 1986), Igeo값은 제시한 오염정도에 따라 총 7단계로 구분하여 평가하였다 (Table 2). 오염부하지수 (Pollution load index, PLI) 는 배경농도에 대한 미량금속 비 값을 이용하여 구하였고 (Tomlinson *et al.*, 1980), 미량 금속 배경농도로는 국내외로 많은 연구자들이 사용하는 대륙 봉 해역의 평균 미량금속 (As = 1.5 mg/kg, Cd = 0.098 mg/kg, Cr = 35 mg/kg, Cu = 25 mg/kg, Pb = 20 mg/kg, Zn = 71 mg/kg) 를 이용하였다 (Taylor and McLennan, 1995).

B_{metal} = 각 미량금속의 배경농도
 C_{metal} = 연구해역 퇴적물 내 미량금속의 농도
 T_{metal} = 미량금속의 독성계수
 n = 분석된 미량금속의 수

3. 통계분석

경남 사랑도 퇴적물의 유기물과 미량금속들과의 상관분석을 IBM SPSS statistics (Ver. 23) 으로 분석하였으며, 두 변수의 통계적 유의성은 t-test 로 검증하였다.

결과 및 고찰

1. 표층 퇴적물의 함수율 및 황화물

조사해역 정점별 평균 함수율은 38.2-61.0%으로 일반적인 연안해역의 함수율 범위에 해당하였다. 정점별 평균 AVS은 0.04-0.20 mg/g의 범위였으며, 일반적으로 패류 양식장 인근에서 다소 높았다 (Fig. 2). 해협입구인 정점 1에서 일본 수산생물 보호를 위한 퇴적물 기준인 0.2 mg/g을 초과하였으나 (Yokoyama, 2000), 나머지 정점에서는 기준치 이하로 나타났다. 양식장의 분변과 같은 유기물의 축적이 일어나면 저질에 축적된 유기물은 박테리아에 의해 분해되며 저층수의 용존산소를 소비하고, 심한 경우 저질의 환원환경이 조성되면 황산염 환원세균의 증식에 의해 황화수소가 발생된다. 이런 황화수소는 퇴적물중 금속 등과 결합하여 황화물을 형성되는 것으로 알려져 있다. 따라서 황화물의 증가는 표층 퇴적물 수역에 빈산소 또는 무산소 수괴가 형성될 개연성이 높은 것을 의미하고, 환원환경에서는 황화수소로 용출되어 해양생물에게 직접적 피해를 일으킬 수도 있다 (Jeong *et al.*, 2014). 그러나 조사해역은 비교적 유속이 빨라 양식장 노폐물의 침전이 원활하지 않

$$PLI = \sqrt[n]{(CF_1 \times CF_2 \times CF_3 \times \dots \times CF_n)}$$

$$CF = \left(\frac{C_{metal}}{B_{metal}} \right)$$

B_{metal} = 미량금속의 배경농도
 C_{metal} = 연구해역 퇴적물 내 미량금속의 농도
 n = 분석된 미량금속의 총 개수

퇴적물 미량금속에 대한 생태독성계수를 이용하여, 생태계 위해도지수 (Ecological risk index, ERI)를 구하였다 (Hakanson, 1980). 그리고 미량금속의 독성계수는 총 6개 (As = 10, Cd = 30, Cr = 2, Cu = 5, Pb = 5, Zn = 1) 를 이용하였다 (Sheykhi and Moore, 2013).

$$ERI = \sum_{i=1}^n E_i$$

$$E_i = T_{metal} \times \frac{C_{metal}}{B_{metal}}$$

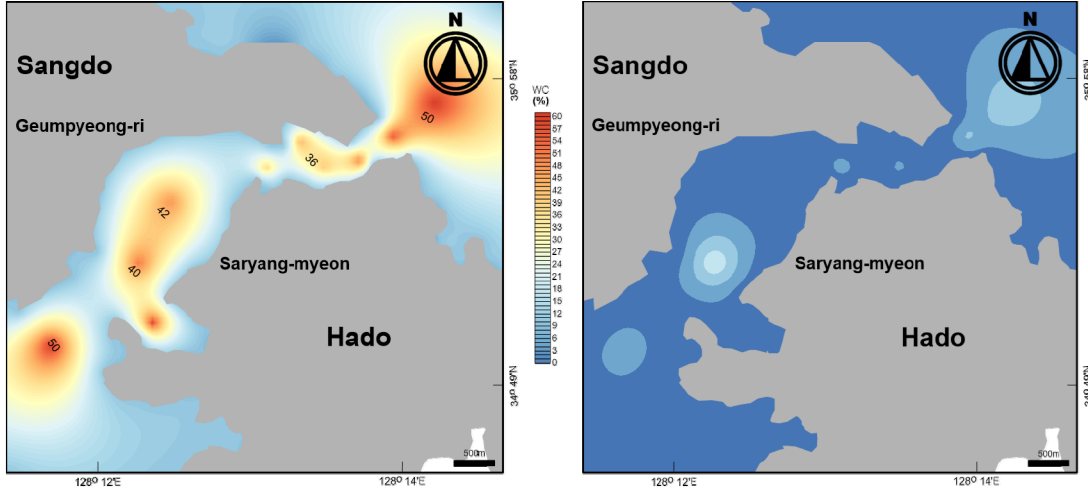


Fig. 2. The contour plot of the concentration of WC (%) and AVS (mg/g) in the surface sediments from Saryang Island.

Table 3. Comparison of ignition loss (IL) and chemical oxygen demand (COD) in the sediments from Korean coast (range and mean)

Region	Range (mean)		Reference
	IL(%)	COD (mg /g)	
Saryang Island	5.1-8.0 (6.5)	14.1-26.7 (20.2)	This study
Anjung Bay	6.4-11.7 (9.5)	17.9-43.8 (27.5)	Jeong <i>et al.</i> , 2014
Goeje Bay	7.7~9.9 (9.2)	17.9-26.6 (21.6)	Kim <i>et al.</i> , 2019
Jaran Bay	4.4-8.8 (7.2)	4.8-27.8 (16.8)	MIFAFF, 2009
Jinhae Bay	2.8-10.2 (7.1)	7.9-48.8 (32.9)	Choi <i>et al.</i> , 2017

은 해역의 특징을 보이고 있다.

2. 표층 퇴적물의 유기오염 특성

침강된 유기 퇴적물은 1차적으로 표재성 저서생물의 먹이원으로 활용되지만, 과잉공급된 유기물은 호기성 미생물에 의해 분해되며 주위환경의 산소를 소비한다. 이러한 분해반응은 일반적으로 수온과 비례하고 주로 여름철에 빈산소수피를 유발하게 된다. 해수 중의 용존산소가 3.0 mg/L이하에서는 어류는 대상해역을 기피하며, 치어 및 유생 성장에 저해하는 요인으로 작용하고 (Gray *et al.*, 2002; Vaquer-Sunyer and Duarte, 2008), 2.0 mg/L이하에서는 갑각류와 패류가 폐사한다 (Oh *et al.*, 2013; Jeon *et al.*, 2016). 따라서 저질의 유기물 함량은 해역의 환경오염지표로 유용하다.

정점별 평균 IL은 5.1-8.0% (평균 6.5 ± 0.9%) 의 범위였으며, 해협의 입구인 1번 정점에서 가장 높았다. 평균 COD는 14.1-26.7 mg/g (평균 20.2 ± 4.0 mg/g) 범위로 가두리 양식장 인근에 위치한 정점 2에서 가장 높았고, 패류양식장 주변에

서도 일본의 수산생물 보호를 위해 설정한 COD 기준농도 20 mg/g을 초과하였다 (Yokoyama, 2000). 조사해역에 침전환경이 가장 용이한 정점 1에서는 유기물 함량이 비교적 높게 나타났다지만, 다른 해역의 수하식 패류 양식장 해역의 유기물 함량과 비슷한 결과를 제시하고 있다 (Table 3). 한편 COD는 어류가두리 양식장의 높은 오염부하가 원인으로 판단된다.

3. 표층 퇴적물의 중금속 농도 및 특성

육상원으로부터 공급되는 중금속 이온이 해수 중 입자성 물질에 흡착 후 침강되어 표층 퇴적물 중금속 농도를 높이는 것으로 알려져 있다. 이런 표층 퇴적물의 중금속은 유입과정과 기원을 나타내는 지표로 유용하다 (Kang *et al.*, 2012). 표층 퇴적물의 평균 중금속 농도는 Al 182.8-235.8 mg/kg (평균 210.6 ± 18.4 mg/kg), Cd 0.071-0.206 mg/kg (평균 0.154 ± 0.050 mg/kg), Cu 4.9-23.2 mg/kg (평균 8.4 ± 5.4 mg/kg), Fe 191.1-259.4 mg/kg (평균 225.0 ± 23.4 mg/kg), Ni 6.0-12.9 mg/kg (평균 2.7 ± 9.6 mg/kg), Pb

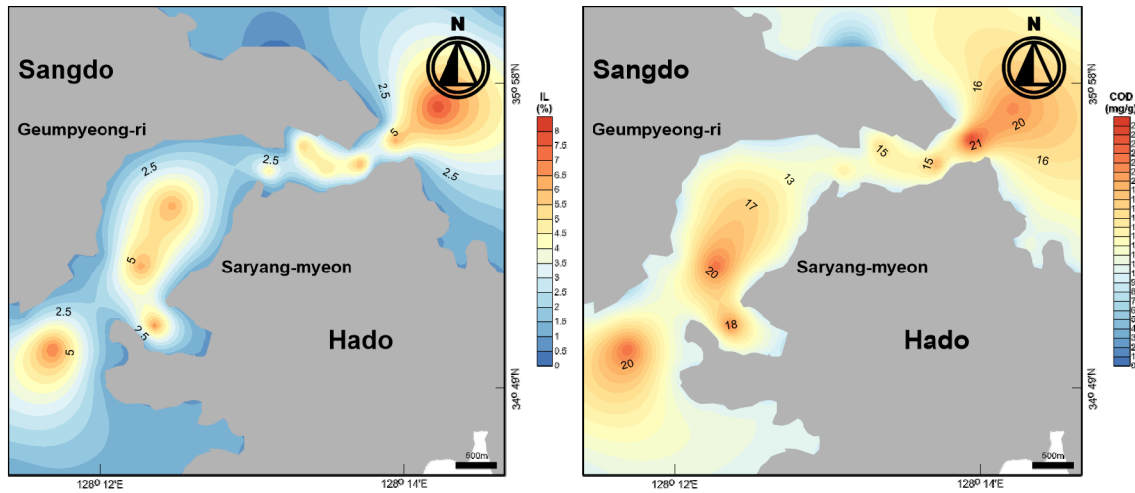


Fig. 3. The contour plot for the concentrations of IL (%) and COD (mg/g) in the surface sediment from Saryang Island.

Table 4. Comparison of the mean concentration of trace metals (As, Cd, Cr, Cu, Pb and Zn) in the sediments from Korean coast

Region	Metal (mg/Kg)						Reference
	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn	
Saryang-do	-	0.15	-	6.7	4.3	50.7	This study
Korean coast	9.1	0.25	58	37	35	122	Ra <i>et al.</i> , 2013
Goeje Bay	4.1	0.2	35.8	28.3	11.7	69.8	Kim <i>et al.</i> , 2019
Goseong Bay	17	0.2	88	43	24	142	Kang <i>et al.</i> , 2012
Jaran Bay	9.5	0.15	78	31	40	146	Hwang <i>et al.</i> , 2018
Jinhae Bay	11.1	0.5	70	57	40	167	Choi <i>et al.</i> , 2015

3.2-5.9 (평균 4.3 ± 0.9 mg/kg), Zn 38.9-60.2 mg/kg (평균 50.7 ± 7.3 mg/kg)의 범위였다 (Fig. 4). 지각 중에 많이 존재하는 Al, Fe 함량은 정점별로 큰 차이가 없었지만, Cu, Ni, Pb 및 Zn의 분포는 탄산염과 유기물 농도와 관련있는 것으로 알려지고 있다 (Sunderland *et al.*, 2006). Cd, Cu, Ni, Pb 및 Zn은 정점 4, 5, 6에서 낮았는데, 이는 사랑도 섬사이 해협의 유속이 빠르기 때문인 것으로 판단된다. 항구에 인접한 정점 7에서는 Pb이 높았고, Cu, Zn은 패류 양식장이 인접한 정점에서 상대적으로 높았으며, 선박운행이 잦은 해역으로 판단된다. 사랑도 해역의 평균 중금속 농도는 인근 다른 양식해역에 비해 상대적으로 낮게 나타났다 (Table 4).

4. 표층 퇴적물의 중금속 오염도 평가

해저 퇴적물중 모든 종류의 중금속 함량은 모든 조사정점에서 해양환경 기준 TEL과 PEL 기준치 이하로 관찰되었다

(Fig. 5). Igeo를 기준으로 중금속 종류별 오염수준을 평가하면, Cd은 모든 정점에서 Class 0으로 비오염수준 (Unpolluted) 관찰되었으며, Pb은 모두 Class 1로 비오염에서 중간 오염수준으로 (From unpolluted to moderately polluted) 나타났다. Cu와 Ni는 각각 Class 2의 80%와 70%로 각각 나타나 중간 오염수준 (Moderate risk) 으로 평가되었고, Zn은 모든 정점에서의 다소 강하게 오염된 수준 (Strongly polluted) 으로 나타났다 (Table 5). 퇴적물 중금속의 종합적인 오염도를 평가하기 위하여 PLI값과 저서생물에 미치는 영향을 평가하기 위해 ERI를 구하였다 (Fig. 6). PLI는 1.3-2.3 (평균 1.8) 로 모든 정점에서 1.0을 초과하여, 오염된 상태 (Polluted) 였으며, ERI는 25.3-70.4 (평균 51.6) 로 모든 조사정점에서 낮은 위험도 (Low risk) 를 보였다. Hwang *et al.* (2021) 은 주요 양식해역의 어류 양식장 퇴적물에서는 비교적 높아 극심한 부정적인 생태 영향을 줄 수 있

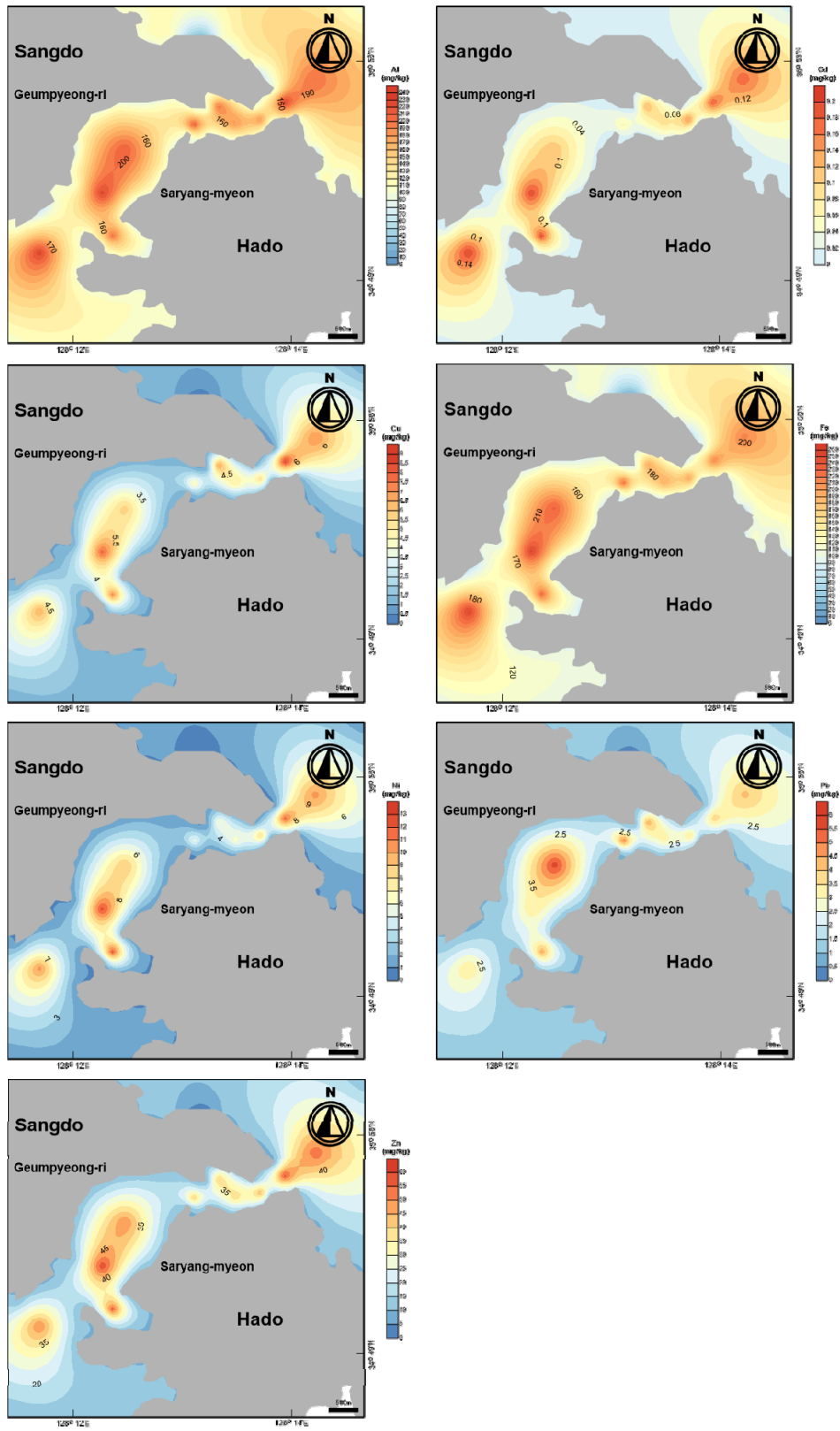


Fig 4. The contour plot for the mean concentration of trace metal (Al, Cd, Cu, Ni, Fe, Pb, and Zn) in the surface sediments from Saryang Island.

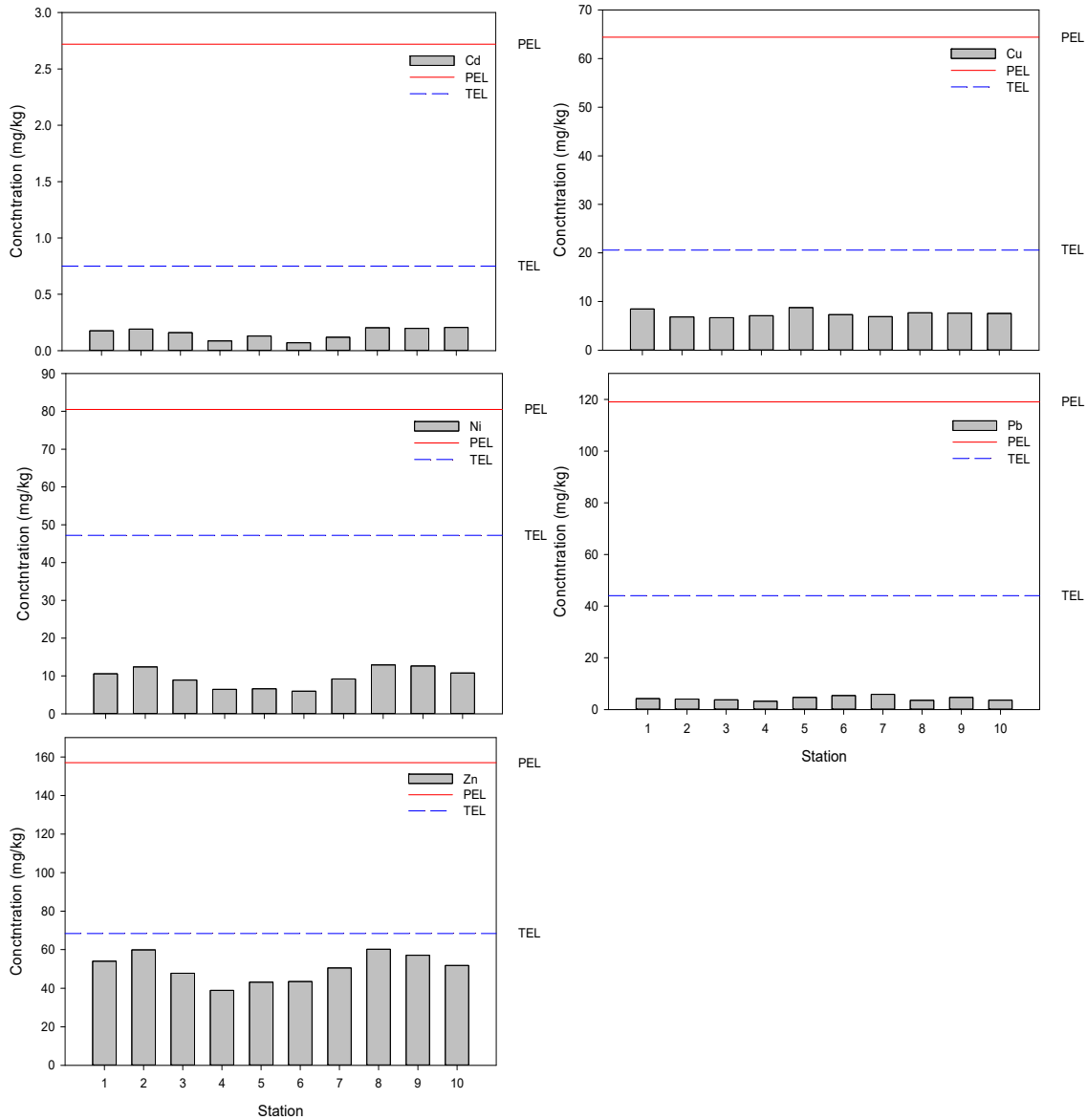


Fig. 5. Spatial comparison of the mean concentration of trace metal (Cd, Cu, Ni, Pb and Zn) of the sediments from Sarayng Island. Solid lines and dash line represents Probable Effects Level (PEL) and Threshold effect level (TEL), respectively.

는 상태 (disastrous risk) 상태라고 보고하고 있다. 일부 어류양식장은 Cd, Hg 등 유해 중금속의 농도가 상대적으로 높아 극심한 부정적인 생태 영향을 줄 수 있는 것으로 보고하고 있다. 한편 Hwang *et al.* (2018) 은 우리의 조사해역과 인접한 자란만 해역에 대한 조사결과 만외부에 위치한 해역은 ERI 100-150의 moderate risk로 평가하였지만, 만내부는 ERI 150-200의 considerable risk로 평가함으로써 해역의 어장배치와 조류 소통 등에 의한 영향을 배제할 수 없음을 제시하고 있다. 우리의 연구는 주로 패류양식장 주변을 대상으로 조사하

여 낮았고, 어류양식장 주변도 좁은 협수로에 위치하고 있어 비교적 낮은 ERI 분포를 나타내었다.

5. 표층퇴적물의 유기물과 중금속간의 상관관계

사량도 표층 퇴적물의 유기오염과 중금속 함량과 상관관계를 분석한 결과, 유기물 오염 (IL, COD) 과는 밀접한 관련이 있지만 휘발성황화물과는 유의한 상관관계가 나타나지 않았다 (Table 6). 특히 Cd, Zn과 Ni는 강한 양의 상관관계를 나타내었고, WC는 IL, COD, Cd, Ni, Zn와 높은 양의 상관관계를

Table 5. Evaluation of metal contamination of the surface sediments from Saryng Island following classification of geoaccumulation index (Igeo)

Igeo range	Igeo class	Designation of sediment quality	Number of sites				
			Cd	Cu	Ni	Pb	Zn
> 5	6	Very strongly polluted					
4-5	5	Strongly / very strongly polluted					
3-4	4	Strongly polluted					10
2-3	3	Moderately / strongly polluted		8	7		
1-2	2	Moderately polluted		2	3	10	
0-1	1	Practically unpolluted / moderately polluted					
< 0	0	Practically unpolluted	10				

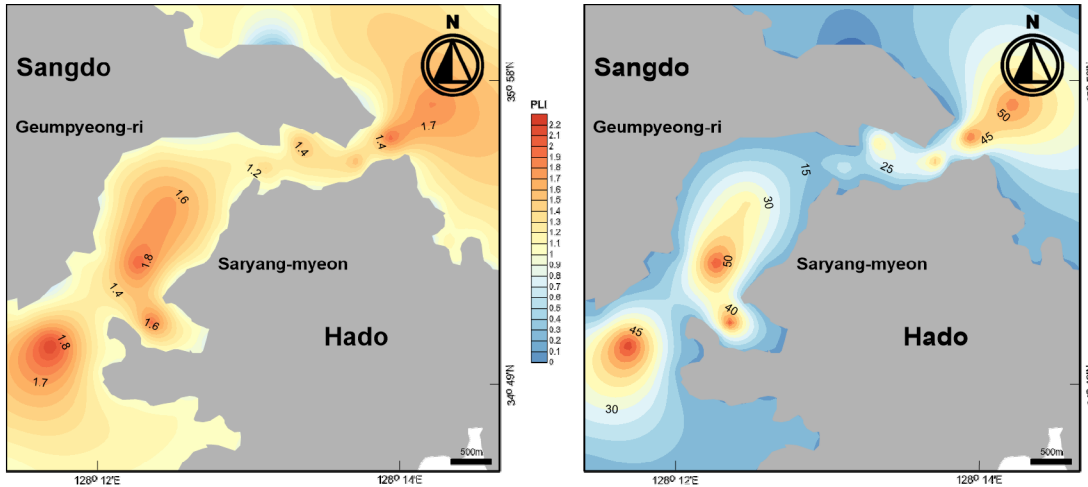


Fig. 6. The contour plot for the pollution load index (PLI) and ecological risk index (ERI) in the surface sediment from Saryng Island.

나타내었다. 이는 높은 함수율은 퇴적물중 함수율이 높은 니질의 함량이 높은 것을 의미하므로 니질 함량이 증가할수록 이들 오염물질의 함량이 증가하는 것을 의미할 수 있다. 따라서 조사해역의 오염물질지수가 다른 양식해역에 비해 상대적으로 낮게 나타난 것은 이러한 퇴적환경의 차이에서 비롯된 것으로 판단된다. Hwang *et al.* (2018) 은 유기오염 지표인 TOC와 높은 상관성을 보이는 중금속류는 Cd뿐인 것으로 보고하고 나머지는 상관성을 보이지 않는 것으로 보고하고 있다. 또한 어류 양식장의 분포 및 밀집도와도 큰 관련성이 없는 것으로 보고하였다. 우리 연구결과에서도 어장의 밀집도 보다는 협수로의 유속에 의한 침강력 등에 의해 영향이 높은 것으로 판단된다.

결론

굴, 피조개 등 패류양식장이 산재하고 있는 통영 사량도 인근 해역의 표층퇴적물을 채취하여 함수율, 황화물, 유기물 (화학적산소요구량, 강열감량), 중금속 (Al, Cd, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn)의 분포 특성을 통한 생태위해성평가를 실시하였다. 저질층 황화물 및 유기물 함량은 해협 입구의 낮은 유속 (정점 1) 과 가두리 양식장에 영향으로 정점 1, 2에서 다소 높았지만, 타해역에 비해 양호한 수준을 유지하였다. 중금속 중 Cd, Cu, Ni, Pb, Zn는 해협 입구 협수로에서 상대적으로 낮았고, Pb의 함량은 항구에 인접한 정점 7에서 최대값을 보였다. 표층퇴적물 해양환경 기준 TEL과 PEL은 모든 조사정점에서 중금속 오염기준치 이하였고, 농집지수 (Igeo) 는 Zn이 모든 정점에서 강하게 오염된 수준이었고, PLI 값은 모든 정점에서 1.0을 초과하여 오염된 상태 (Polluted) 였다. 한편 저서생물에 미치는 영향 (ERI) 는 모든 정점에서 낮은 위험도 (Low risk) 를 나타내

Table 6. Pearson correlation analysis between the metal concentrations and sediment properties of the surface sediments from Saryang Island

	WC	IL	AVS	COD	Al	Cd	Cu	Fe	Ni	Pb
IL	0.944**									
AVS	0.372	0.413								
COD	0.856**	0.713*	0.233							
Al	0.298	0.147	-0.117	0.595						
Cd	0.879**	0.796**	0.456	0.892**	0.282					
Cu	0.550	0.434	0.057	0.481	0.497	0.418				
Fe	0.376	0.298	-0.194	0.470	0.755*	0.365	0.554			
Ni	0.827**	0.708*	0.125	0.914**	0.487	0.843**	0.339	0.554		
Pb	-0.254	-0.157	-0.463	-0.310	0.124	-0.497	-0.332	0.138	-0.231	
Zn	0.764*	0.664*	0.112	0.909**	0.601	0.780**	0.245	0.579	0.969**	-0.076

*p < 0.05, **p < 0.01 (two-tailed)

어, 전반적으로 사량도 상도와 하도사이의 협수로의 표층퇴적물은 인근 양식장에 비해 오염도가 낮은 것으로 평가되었다.

사 사

이 논문은 2022년도 경상국립대학교 연구년제 연구교수 연구비로 수행되었음.

REFERENCES

Baek, S.-H., Lee, J.-Y., Lee, H.-O., and Han, M.-S. (2008) Study of the Food Characteristics on Pacific Oyster *Crassostrea gigas* and Manila Clam *Ruditapes philippinarum* in the Intertidal Zone of Taeahn, Korea. *Korean Journal of Environmental Biology*, **26**: 145-158.

Billah, M.M., Mustafa Kamal, A.H., Idris, M.H., and Ismail, J. (2017) Mangrove macroalgae as biomonitors of heavy metal contamination in a tropical estuary, Malaysia. *Water, Air, & Soil Pollution*, **228**: 347.

Cantillo, A. (1998) Comparison of results of mussel watch programs of the United States and France with worldwide mussel watch studies. *Marine Pollution Bulletin*, **36**: 712-717.

Chan-Won, L., and Young-Tack, K. (1994) Distribution of

heavy metals in seawater, sediment and biota of Jinhae Bay, Korea. *Water Science and Technology*, **30**: 173.

Cho, S.-M. (2013) Food Availability of Oyster Farms in Woongdo, Seosan in the Western Coast of Korea During Summer. *Korean Journal of Malacology*, **29**: 283-289.

Cho, S.-M., Kang, J.-H., Kim, J.-H., Bae, H.-J., and Jeong, W.-G. (2020) Distributions and Characteristics of Surface Sediment Environment in Jaran Bay, Korea. *The Korean Journal of Malacology*, **36**: 201-210.

Choi, M., Lee, I.-S., Hwang, D.-W., Kim, H.C., Yoon, S.-P., Yun, S., Kim, C.-S., and Seo, I.-S. (2017) Organic enrichment and pollution in surface sediments from Jinhae and Geoje-Hansan Bays with dense oyster farms. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **50**: 777-787.

Choi, T.-J., Kwon, J.-N., Lee, G., Hwang, H., Kim, Y., and Lim, J.-H. (2015) Distribution and pollution assessment of trace metals in the surface sediments around farming area of Jinhae Bay. *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, **21**: 347-360.

Cranford, P., Hargrave, B., and Doucette, L. (2009) Benthic organic enrichment from suspended mussel (*Mytilus edulis*) culture in Prince Edward Island, Canada. *Aquaculture*, **292**: 189-196.

Danovaro, R., Gambi, C., Luna, G., and Mirto, S. (2004)

- Sustainable impact of mussel farming in the Adriatic Sea (Mediterranean Sea): Evidence from biochemical, microbial and meiofaunal indicators. *Marine pollution bulletin*, **49**: 325-333.
- Gray, J.S., Wu, R.S.-s., and Or, Y.Y. (2002) Effects of hypoxia and organic enrichment on the coastal marine environment. *Marine ecology progress series*, **238**: 249-279.
- Hakanson, L. (1980) An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water research*, **14**: 975-1001.
- Hwang, D.-W., Hwang, H.J., Lee, G.R., Kim, S.Y., Park, S.Y., Yoon, S.P. (2021) Organic matter and heavy metals pollution assessment of surface sediment from a fish farming area in Tongyeong-Geoje Coast of Korea. *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, **27**(4): 510-520.
- Hwang, H.-J., Hwang, D.-W., Lee, G.-R., Kim, H.-C., and Kwon, J.-N. (2018) Distributions of Organic Matter and Heavy Metals in the Surface Sediment of Jaran Bay, Korea. *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, **24**: 78-91.
- Jeon, J.-Y., Moon, S.-Y., and Oh, S.J. (2016) Bio-monitoring system using shell valve movements of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) detecting abnormal shell valve movements under hypoxia water using hall element sensor. *Journal of Marine Life Science*, **1**: 25-30.
- Jeong, H.H., Kim, D.W., Lam, N.H., Choi, T.B., and Cho, H.S. (2017) Heavy metal pollution in the surface sediments of the Korean south-west environmental preservation sea areas. *Journal of the Korean Society for Environmental Analysis*, **20**: 93-99.
- Jeong, W.-G., Cho, S.-M., and Lee, S.-J. (2014) Physiochemical Characteristics and Heavy Metal in the Surface Sediments of Marine Shellfish Farming Waters in Anjung Bay, Korea. *The Korean Journal of Malacology*, **30**: 421-428.
- JFRCA. (2006) A Guide Book for the Improvement Plan in Aquaculture (instructor). Japan Fisheries Resource Conservation Association 79.
- Kang, J.-H., Lee, S.-J., Jeong, W.-G., and Cho, S.-M. (2012) Geochemical characteristics and heavy metal pollutions in the surface sediments of oyster farms in Goseong Bay, Korea. *The Korean Journal of Malacology*, **28**: 233-244.
- Kim, J.-H., Cho, S.M., and Jeong, W.G. (2019) Characteristics of Sediment Environment in Geojaman Bay Shellfish Farms. *The Korean Journal of Malacology*, **35**: 19-31.
- Lee, G.-R., Hwang, D.-W., Hwang, H.-J., Park, J.-H., Kim, H.-C., and Kwon, J.-N. (2017) Distribution and Pollution Status of Organic Matter and Heavy Metals in Surface Sediment Around Goseong Bay, a Shellfish Farming Area, Korea. *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, **23**: 699-709.
- Lee, I.-S., and Kim, E.-J. (2000) Distribution of heavy metals in sediments, seawater and oysters (*Crassostrea gigas*) in the Jinhae Bay. *The Korean Journal of Ecology*, **23**(1): 59-64.
- Müller, P.J., and Suess, E. (1979) Productivity, sedimentation rate, and sedimentary organic matter in the oceans — I. Organic carbon preservation. Deep Sea Research Part A. *Oceanographic Research Papers*, **26**: 1347-1362.
- MIFAFF (2009) Report on water quality status in farming areas of Korea in 2009. Busan, Korea, 443pp.
- Oh, S.J., Lee, J.-H., and Kim, S.-Y. (2013) Bio-monitoring system using shell valve movements of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) - I. Detecting abnormal shell valve movements under low salinity using a hall element sensor. *Journal of the Korean Society for Marine Environment & Energy*, **16**: 138-142.
- Ra, K., Kim, E.-S., Kim, K.-T., Kim, J.-K., Lee, J.-M., and Choi, J.-Y. (2013) Assessment of heavy metal contamination and its ecological risk in the surface sediments along the coast of Korea. *Journal of Coastal Research*, **65**: 105-110.
- Ruilian, Y., Xing, Y., Yuanhui, Z., Gongren, H., and Xianglin, T. (2008) Heavy metal pollution in intertidal sediments from Quanzhou Bay, China. *Journal of Environmental Sciences*, **20**: 664-669.
- Santos, I.R., Silva-Filho, E.V., Schaefer, C.E., Albuquerque-Filho, M.R., and Campos, L.S. (2005) Heavy metal contamination in coastal sediments and soils near the Brazilian Antarctic Station, King George Island. *Marine Pollution Bulletin*, **50**: 185-194.
- Sheykhi, V., and Moore, F. (2013) Evaluation of potentially toxic metals pollution in the sediments of the Kor river, southwest Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, **185**: 3219-3232.
- Stoffers, P., Glasby, G., Wilson, C., Davis, K., and Walter, P. (1986) Heavy metal pollution in Wellington Harbour. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, **20**: 495-512.
- Sunderland, E.M., Gobas, F.A., Branfireun, B.A., and Heyes, A. (2006) Environmental controls on the speciation and distribution of mercury in coastal sediments. *Marine Chemistry*, **102**: 111-123.
- Taylor, S.R., and McLennan, S.M. (1995) The geochemical evolution of the continental crust. *Reviews of Geophysics*, **33**: 241-265.
- Tomlinson, D., Wilson, J., Harris, C., and Jeffrey, D. (1980) Problems in the assessment of heavy-metal levels in estuaries and the formation of a pollution index. *Helgoländer Meeresuntersuchungen*, **33**: 566-575.
- Vaquer-Sunyer, R., and Duarte, C.M. (2008) Thresholds of hypoxia for marine biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **105**: 15452-15457.
- Virginia, E., Colianni, G., Aquarone, M., Balthis, L., Bourgeois, P., Casey, J., Cooksey, C., Dahl, T., Harvey, J., Harwell, L., Hyland, J., Kiddon, J.,

- MacCauley, J., Nelson, W., Osantowski, E., Sherman, K., Shuford, R., Smith, L., Summers, K., Szymkowiak, M., and Whittall, D. (2012) National Coastal condition report IV. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-14/001 (NTIS EPA-842-R-10-003).
- Yokoyama, H. (2000) Environmental quality criteria for aquaculture farms in Japanese coastal areas: A new policy and its potential problems. *Bulletin of National Research Institute of Aquaculture (Japan)*
- Zabetoglou, K., Voutsas, D., and Samara, C. (2002) Toxicity and heavy metal contamination of surficial sediments from the Bay of Thessaloniki (Northwestern Aegean Sea) Greece. *Chemosphere*, **49**: 17-26.
- Zoumis, T., Schmidt, A., Grigorova, L., and Calmano, W. (2001) Contaminants in sediments: remobilisation and demobilisation. *Science of the total environment*, **266**: 195-202.

