

성게 알을 이용한 생물검정에 의한 연안해수 수질평가에 관한 연구

유춘만
전남대학교 생물학과

Evaluation of Offshore Water Quality by Bioassay Using the Gametes and Embryos of Sea Urchins

CHUN MAN YU

Department of Biology, College of Natural Science, Chonnam National University, Kwangju 500-757, Korea

말뚝성게(*Hemicentrotus pulcherrimus*)의 배우체 및 배아와 초기 발생계를 이용한 생물검정을 통해 우리나라 전 해역의 연안해수의 수질을 평가하였다. 서해권 해역의 경우, 우리나라의 지형특성상 대다수의 하천이 서해안으로 흘러가고 있으나, 유입하천 정화 및 폐수배출업소 단속, 하수처리장 건설 등으로 인한 오염물질 유입감소 그리고 비교적 큰 조수간만 차에 의한 활발한 해수혼합에 의한 오염물질의 희석으로 오염의 진행속도가 감소 또는 완만한 증가 추세이며, 대체로 II등급의 수질을 유지하고 있었다. 그러나 해수의 유동이 적고 반폐쇄적인 연안해역인 아산만, 천수만 및 함평만과 인근 도심지역으로부터 오염물질의 유입량이 많은 군산항과 목포연안 해수는 말뚝성게의 수정막 형성률과 정상적인 유생 형성률이 아주 낮은 수준으로, 말뚝성게의 초기 배 발생에 큰 피해를 주는 III등급 수준을 유지하고 있다. 남해권 해역의 경우, 대부분의 연안수질이 다른 해역에 비해 약간 악화된 편으로 대체로 말뚝성게의 초기 배 발생에 약간의 피해를 주는 II, III등급의 수질을 유지하고 있다. 특히, 강진만, 득량만, 광양만, 마산만, 진해만 등 반폐쇄성 해역은 오염정도가 심한 III등급 수준으로 실험동물의 초기 배 발생에 큰 피해를 나타내고 있다. 동해권 해역의 경우, 해안선이 비교적 단조롭고 해수유동이 원활함으로 말뚝성게의 초기 배 발생에 피해를 주지 않는 비교적 깨끗한 수질로 I, II등급의 수준을 유지하고 있다. 그러나 청초호(속초)는 항만기능의 유지를 위하여 축조된 방파제 등에 의해 항만내 수질오염이 심화되어 조사된 전국 연안 중 오염정도가 가장 심하게 나타났다.

The water quality of offshore waters around the Korean coast was evaluated by bioassay using gametes, embryos and early development systems of a sea urchin species *Hemicentrotus pulcherrimus*. The results show that despite the inflows of several river systems, the west coast maintain the grade II water. This is thought to be due to the decrease in pollutant input resulting from the purification of inflow rivers (e.g., the control of waste water discharge and the construction of sewage treatment facilities), and the dilution of pollutants by a strong tidal mixing with a large difference between the ebb and flood tides. However, Asan, Hampyong and Chonsu bays, where circulations of water are relatively poor, and the Kunsan and Mokpo harbors which are influenced by pollutants from neighboring cities have shown the grade III water. The south coast has maintain the grade II or III because developments of sea urchins were moderately or strongly inhibited. Also, Kangjin, Duekryang, Kwangyang, Masan, and Jinhae bays where water circulations are relatively poor, show the grade III water, with strong inhibitions of the early development of sea urchins. The east coast has maintained the grade I and II due to monotonous coastlines and smooth circulation of sea water. However, Chongcho Lake shows the worst water quality due to the breakwater which is constructed to maintain port functions.

서론

현재에 이르기까지 수환경과 대기환경 등, 환경오염의 정도와 상태를 파악하는 데 있어서 이화학적 조사방법이 주로 사용되어 왔으나 환경에 영향을 미치는 유해화학물질도 수많은 종류가 개발되어 이들이 환경 내에 복합된 요소로 구성되어 있을 경

우, 이를 이화학적 방법을 통해 환경에 미치는 요인물질을 정확히 파악하기가 힘들 뿐만 아니라 환경요인을 복합적이고 종합적으로 파악하기엔 많은 시간과 경제적인 비용이 소요된다. 또한, 유해화학물질의 농도가 환경에 극저농도로 존재할 경우, 이를 이화학적 방법으로는 생물체에 미치는 영향을 파악하기는 지극히 어려우며 배출된 유해화학물질의 환경 중에서의 이동과

변환으로 인하여 광역적이고 장기간에 걸친 오염도의 축적을 파악하기가 힘들다.

그러므로 환경오염의 정도와 상태를 파악하는데 있어 이러한 이화학적 방법의 단점을 보완하고자 근래에 들어 동·식물 플랑크톤, 미생물, 원생생물, 강장동물, 극피동물, 선형동물, 다모류, 연체동물, 갑각류, 어류 등을 이용하여 종합적이고 광역적으로 오염정도를 확인하는 생물학적 조사방법인 생물검정법 또는 지표생물을 이용한 생물학적 환경감시가 요구되고 있다. 이러한 견지에서 본 연구는 해양수질의 상태와 오염정도를 파악하는데 있어서 이화학적 방법의 문제점을 보완하고 해양오염상태를 종합적으로 판정하고자 해산무척추동물의 하나인 성게(sea urchins)의 배우체(gametes) 및 배아(embryos)와 초기 발생계를 이용한 생물검정을 통하여 우리나라 전 해역의 연안해수의 수질을 평가하고 해양오염지도(marine pollution map)를 작성하여 그 상태와 정도를 파악하고자 한다.

해산무척추동물 중, 분류학적으로 극피동물문, 성게아문

(Echinozoa), 성게강(Echinoidea)으로 분류되는 성게의 배우체와 배아는 1800년대 중반부터 발생학과 세포학 분야 등에서 기본적인 실험재료로 사용되어 왔었다(Monroy, 1986). 1920년대와 30년대에 걸쳐서 성게의 배우체 및 배아와 초기 발생계를 이용한 환경·생물·생태학적인 연구가 시도 되었으며 성게의 수정과 발생에 미치는 금속이온의 영향에 대해 Lillie(1921)와 Hoadley (1923)에 의해 시도된 바 있다. 1950년대에 이르러 자연해수에서의 성게의 수정과 발생에 미치는 금속이온의 영향에 대한 연구가 이루어진 바 있다. 1970년대에는 Kobayashi에 의해 일본 연안의 자연해수가 성게의 초기 배 발생계에 미치는 영향에 대한 연구가 진행되어 해수의 수질판정에 있어 효율적인 생물검정 재료로 인정받게 되었다(Kobayashi, 1972, 1973, 1974, 1977). 또한, 중금속이 성게의 배 발생계에 미치는 연구(Kobayashi, 1981, 1984; Pagano *et al.*, 1983), 각종 유해화학물질(Lonning and Hagstrom, 1975; Norman *et al.*, 1988; Pagano *et al.*, 1988a, 1988b), 기름, 유처리제 및 농약(Lonning, 1977; Greenwood,

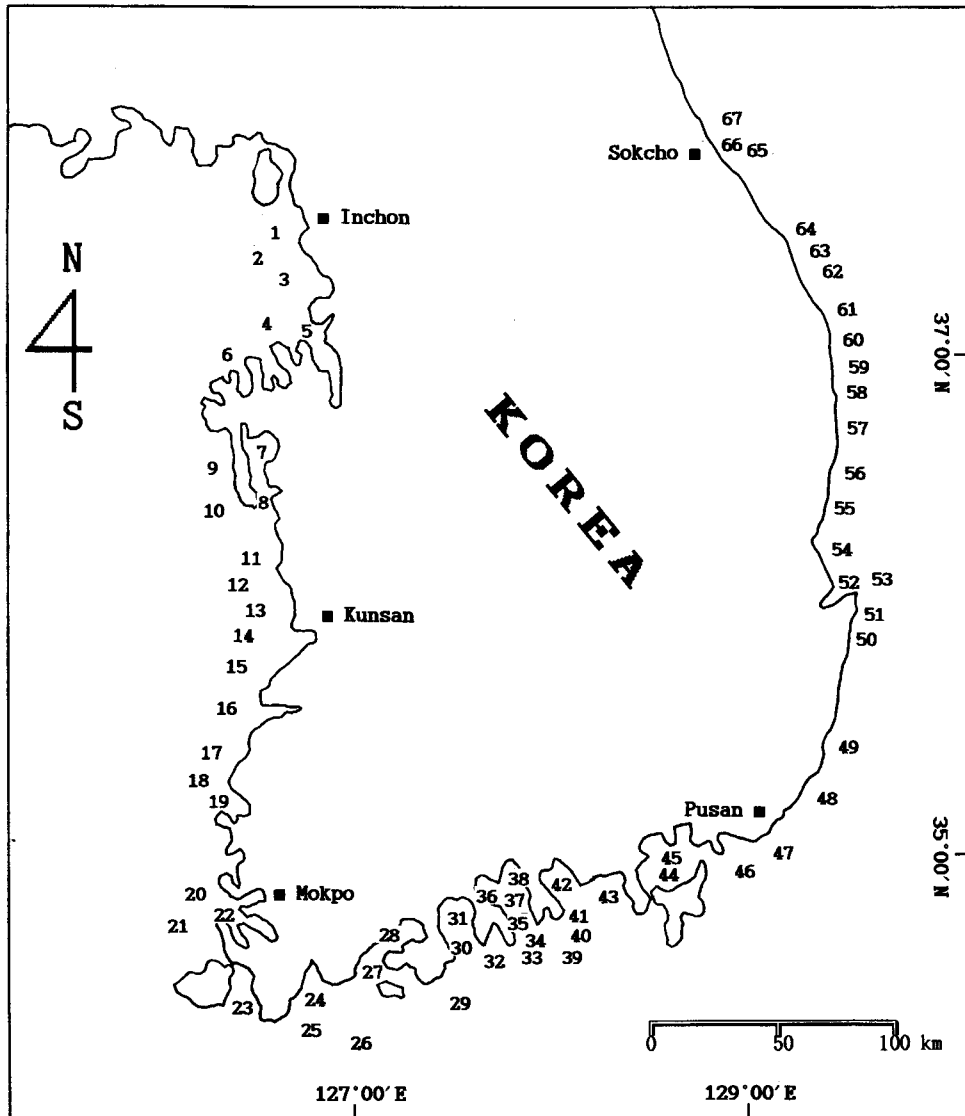


Fig. 1. A map showing sampling stations.

1983; Dinnel *et al.*, 1989)에 대한 연구 등, 성계의 초기 배 발생의 생물검정을 이용한 환경오염 및 독성물질에 관한 연구가 활발하게 진행되었다.

재료 및 방법

말뚝성계의 배우체 및 배아와 초기 발생계의 생물검정에 의한 해양오염지도를 작성하기 위해 1996년 1월, 2월 동계에 걸쳐 서해권 해역의 23 개 정점, 남해권 해역의 24 개 정점, 동해권 해역의 20 개 정점으로 총 67 개 정점을 선정하였다(Fig. 1; Table 1).

말뚝성계는 비교적 수심이 얇은(1~4 m) 해안선의 암반에 서식하며 우리나라의 경우, 동·남해안의 연안해역이 주서식처이고 산란시기는 2월 중·하순으로 밝혀졌다. 산란시기의 산란처 해수의 수온은 5~8°C, pH 8.0~8.3, 염분 30~32‰이었고 산란 유도물질로는 KCl이 있다(Kobayashi, 1972).

말뚝성계는 전라남도 여천군 돌산면 방죽포와 여수시 오동도 연안에서 채취하였으며, 정자와 난자를 얻기 위한 방정과 방란은 여과된 자연해수를 50 ml의 비이커에 가득 채운 후, 생식공이 충분히 잠기게 한 다음 0.5M의 KCl용액으로 채강 내에 1~2 ml를 주입시킨 후, 20~30 분 동안 방정, 방란을 시켜 얻은 배우체를 여과된 자연해수로 정자는 1 회, 난자는 3 회 반복 세정하여 실험에 사용하였다(Kobayashi, 1984; Fujisawa, 1989).

조사해역으로부터 채취된 자연해수(표층수)를 125 ml의 용기에 50 ml을 채운 후, 방정과 방란을 통해서 얻은 말뚝성계의 정자를 60 분 동안 시험액에 노출시킨 후, 난자를 첨가, 수정막 형성률과 정상적인 유생 형성률을 관찰하기 위해 난자 첨가 20 분 후 시험액의 5 ml을 시험관에 분주하여 10%의 아세트산(acetic

acid)으로 고정시켰으며, 정상적인 유생 형성률의 관찰은 난자를 첨가한지 64 시간 후에 고정시킨 다음 광학현미경을 이용하여 관찰하였다(Kobayashi, 1981, 1984; Dinnel *et al.*, 1987). 이때 배양온도의 조건은 16°C의 어두운 장소에서 정체 배양하였고, 시험액(자연해수)의 양과 시험액에 배양시키고자 하는 정자는 5×10⁶/50 ml의 비율로, 정자와 난자는 1000:1의 비율로 조절하였다(Pagano *et al.*, 1985; Dinnel *et al.*, 1987).

수정막 형성률과 정상적인 유생 형성률의 관찰은 배아를 100 개 이상 계수하여 백분률로 환산 처리하여 해수 수질등급분류

Table 1. Continued

Station	Position		F.M.F. (%)	N.L.F. (%)	Ranking
	Latitude (N)	Longitude (E)			
<i>South coast</i>					
24	34° 46' 30"	126° 33' 01"	53	31	II
25	34° 45' 05"	126° 38' 50"	53	30	II
26	34° 40' 00"	127° 05' 00"	57	32	II
27	35° 11' 05"	127° 25' 10"	53	30	II
28	35° 08' 59"	127° 20' 01"	53	30	II
29	34° 55' 40"	127° 01' 50"	79	72	I
30	35° 01' 02"	127° 48' 04"	53	31	II
31	35° 25' 00"	127° 10' 30"	46	19	III
32	35° 11' 25"	127° 48' 30"	52	29	II
33	35° 20' 00"	127° 51' 45"	80	69	I
34	35° 17' 05"	127° 50' 00"	80	72	I
35	35° 17' 30"	127° 49' 40"	50	29	II
36	35° 07' 21"	127° 36' 20"	23	5	III
37	35° 15' 01"	127° 37' 10"	53	29	II
38	35° 16' 30"	127° 03' 45"	51	30	II
39	35° 27' 00"	127° 48' 40"	70	57	II
40	35° 04' 45"	128° 17' 25"	80	71	I
41	35° 05' 30"	128° 13' 30"	78	68	I
42	35° 19' 05"	128° 09' 20"	62	40	II
43	35° 27' 55"	128° 14' 01"	67	54	II
44	35° 02' 55"	128° 33' 30"	58	35	II
45	35° 36' 40"	128° 53' 20"	31	8	III
46	35° 46' 30"	128° 56' 04"	62	46	II
47	35° 09' 45"	129° 22' 57"	70	58	II
<i>East coast</i>					
48	35° 56' 25"	129° 03' 58"	68	56	II
49	36° 28' 45"	129° 28' 30"	68	58	II
50	36° 34' 40"	129° 59' 20"	69	58	II
51	36° 33' 25"	129° 56' 10"	74	66	I
52	36° 55' 05"	129° 29' 01"	67	55	II
53	36° 59' 30"	129° 27' 00"	73	62	I
54	37° 02' 00"	129° 25' 55"	70	59	II
55	37° 29' 50"	129° 21' 30"	68	57	II
56	37° 29' 20"	129° 01' 01"	79	73	I
57	37° 27' 45"	129° 26' 10"	80	73	I
58	37° 47' 30"	129° 04' 40"	79	74	I
59	37° 43' 01"	129° 00' 01"	80	73	I
60	38° 09' 20"	129° 28' 30"	70	59	II
61	38° 02' 30"	129° 14' 20"	75	83	I
62	38° 25' 35"	128° 39' 40"	88	83	I
63	38° 20' 01"	128° 32' 55"	89	84	I
64	38° 17' 50"	128° 32' 59"	91	86	I
65	38° 40' 30"	128° 49' 10"	88	83	I
66	38° 35' 20"	128° 49' 06"	21	7	III
67	38° 38' 00"	128° 46' 05"	89	83	I

F.M.F.=fertilization membrane formation
N.L.F.=normal larva formation

Table 1. Position and ranking of each coastal station

Station	Position		F.M.F. (%)	N.L.F. (%)	Ranking
	Latitude (N)	Longitude (E)			
<i>West coast</i>					
1	37° 26' 10"				
2	37° 22' 30"	126° 33' 01"	57	35	II
3	37° 14' 20"	126° 31' 20"	61	42	II
4	37° 03' 01"	126° 36' 00"	63	45	II
5	37° 06' 10"	126° 32' 30"	52	30	II
6	36° 58' 20"	126° 45' 05"	42	12	III
7	36° 33' 40"	126° 19' 50"	54	29	II
8	36° 31' 02"	126° 25' 10"	32	4	III
9	37° 30' 30"	126° 17' 05"	63	42	II
10	36° 28' 15"	126° 26' 45"	54	30	II
11	36° 07' 20"	126° 18' 10"	61	44	II
12	36° 00' 30"	126° 28' 20"	65	42	II
13	35° 56' 25"	126° 33' 10"	43	13	III
14	35° 39' 35"	126° 31' 15"	70	57	II
15	35° 35' 30"	126° 24' 00"	62	45	II
16	35° 31' 00"	126° 26' 01"	67	47	II
17	35° 28' 45"	126° 25' 28"	79	60	I
18	35° 08' 05"	126° 23' 00"	66	48	II
19	35° 05' 25"	126° 23' 20"	54	30	II
20	35° 00' 50"	126° 26' 05"	28	2	III
21	34° 47' 50"	126° 23' 30"	55	31	II
22	34° 45' 40"	126° 16' 35"	54	29	II
23	34° 30' 40"	126° 27' 35"	32	7	III

Table 2. Ranking of inhibitory degrees of sea water upon the fertilization and further development of test animals

Inhibitory degree	Grade	Test animal		Remarks
		<i>A. pectinfea</i>		
Non-inhibitory ordinary sea water	I	F.M.F. (%) N.L.F. (%)	70—100 60—100	Normal development
Moderately inhibitory sea water	II	F.M.F. (%) N.L.F. (%)	50—69 29—59	Development delayed or deformed
Violently inhibitory sea water	III	F.M.F. (%) N.L.F. (%)	0—49 0—28	Development stoped in early stage

F.M.F.=fertilization membrane formation

N.L.F.=normal larva formation

(Yu, 1997)를 기준으로 각 조사 정점별로 등급화하였다(Table 2).

결과 및 고찰

서해권 해역의 23 개 정점, 남해권 해역의 24 개 정점, 동해권 해역의 20 개 정점으로 총 67 개 정점을 선정, 말뚝성계의 배우체와 배아를 이용한 생물검정을 통해 우리나라 전 해역의 연안해수를 해수 수질등급 기준을 토대로 등급화하였다.

서해권 해역의 경우, 우리나라의 지형특성상 대다수의 하천이 서해안으로 흘러가고 있으나, 그 동안 유입하천 정화 및 폐수 배출업소 단속, 하수처리장 건설 등으로 인한 오염물질 유입 감소와 비교적 큰 조수간만 차에 의한 원활한 해수순환으로 오염의 진행속도가 감소 또는 완만한 증가 추세로서 총 23 개 조사정점 중 I등급 1 개, II등급 17 개, III등급 5 개 정점으로 대체로 II등급의 수질을 유지하고 있었다.

한편, 해수의 유동이 적고 반폐쇄적인 연안해역인 아산만, 천수만, 함평만과 인근 도심지역으로부터 오염물질의 유입양이 많은 군산항과 목포 연안해수는 말뚝성계의 수정막 형성률과 정상적인 유생 형성률이 아주 낮은 수준으로 나타남으로서 말뚝성계의 초기 배 발생에 큰 저해를 주는 III등급 수준을 유지하고 있었다.

남해권 해역의 경우, 대부분의 연안수질이 다른 해역에 비해 약간 악화된 편으로 총 24 개 조사정점 중, I등급 5 개, II등급 16 개, III등급 3 개 정점으로 나타났으며 대체로 말뚝성계의 초기 배 발생에 약간의 저해를 주는 II등급의 수질을 유지하고 있었으며 특히, 강진만, 득량만, 광양만, 마산만, 진해만 등 반폐쇄성 해역은 오염정도가 심한 III등급 수준으로 실험동물의 초기 배 발생에 큰 저해를 나타내고 있다.

동해권 해역의 경우, 해안선이 비교적 단조롭고 해수유동이 원활하므로 총 20 개 조사정점 중, I등급 12 개, II등급 7 개, III등급 1 개 정점으로 말뚝성계의 초기 배 발생에 저해를 주지 않는 비교적 깨끗한 수질로 I등급의 수준을 유지하고 있었다. 그러나 항만기능의 유지를 위하여 축조된 방파제 등에 의해 청초호(속초)는 항만내 수질오염이 심화되어 III등급의 수준을 나타내고 있으며 특히, 청초호의 경우 전국 연안 중 오염정도가 가

장 심함을 알 수 있었다(Fig. 1; Table 1).

1996년 환경부가 조사한 주요연안의 수질오염 현황을 보면, 서해안의 경우 평균적으로 II등급(COD 2 mg/l 이하)정도의 수질을 유지하고 있고 남해안의 경우, 대부분의 연안수질이 양호한 편으로 평가되고 있으나 마산만, 진해만 등 반폐쇄성 해역은 오염정도가 심한 상태이다. 특히, 마산만의 경우, 매년 오염도가 증가하여 1994년에는 화학적 산소요구량이 5.6 mg/l로 III등급(COD 4 mg/l 이하)을 초과하는 수질을 나타내고 있다. 동해안의 경우, 원활한 해수의 유동으로 인해 비교적 양호한 상태인 I, II 등급이나 속초의 청초호, 주문진 등은 항만내 수질오염이 심화되고 있다. 청초호(속초)의 경우, 1994년도에는 화학적 산소요구량이 7.2 mg/l로서 전국 연안 중 오염정도가 가장 심하였고, 주문진은 화학적 산소요구량이 2.6 mg/l로서 III등급 수질이었다(환경정보센터, 1996).

1996년 환경부의 보고에 의하면, 현재 국내의 해역별 수질관리는 이화학적 방법을 통한 분석결과를 기초로 수질을 I등급, II등급, III등급으로 구분 관리하고 있다. I등급 해역은 수산생물의 서식, 양식 및 산란에 적합한 수질을 유지하거나 유지하고자 하는 해역을 말하며, II등급 해역은 오염이 우려되는 수준은 아니나 주변에 중소도시 및 공단 등이 위치하고 있는 해역으로서 해수욕, 관광 및 여가선용에 적합한 수질을 유지하고자 하는 해역이고, III등급 해역은 현재 II등급 수질을 초과하거나 대규모 임해공단으로부터 폐수가 유입되어 오염 우려가 있는 해역으로 공업용 냉각수 및 선박정박에 이용되는 수질을 유지하고자 하는 해역을 말한다(환경정보센터, 1996).

현재, 국내의 해역별 수질의 등급화는 단지, 이화학적 방법에 의한 화학적 산소요구량이라는 한가지 요인만을 가지고 등급화하고 있는 실정이다. 그러나 과학의 발달과 기술혁신 등으로 인하여 해수환경에 유입되는 유해화학물질이 다양하여 이들이 환경 내에 복합된 요소로 구성되어 있을 경우, 이를 이화학적 방법을 통해 해수환경에 미치는 요인물질을 정확히 파악하기가 힘들 뿐만 아니라, 해수환경을 종합·복합적으로 파악하기엔 많은 시간과 경제적 손실이 야기된다. 또한, 유해화학물질의 농도가 해수환경에 극저농도로 존재할 경우, 이를 이화학적 방법으로는 생물체에 미치는 영향을 인지 할 수가 없으며, 화학물질의 이동과 변환으로 인하여 광역적이고 장기간에 걸친 오염 축적을 파악하기가 힘들다는 단점을 지니고 있다. 그러므로 해양환경 오염의 정도와 상태를 파악하는데 있어서는 생물학적인 조사방법인 생물검정이 요구되며, 이 생물검정에는 극피동물, 선형동물, 연체동물 등 특정생물을 사용하는데, 가능한 간단하고 단기간에 예민하며 확실하게 오염정도를 수량적으로 나타내고 또 여러가지 특징적인 현상을 파악하여 검정하는 것이 바람직하다. 한편, 단순히 국내 뿐만 아니라 국제적으로 같은 종의 성체에 대해 그 민감도를 조사하여 생검검정법을 통일해서, 서로 재료를 비교하고 검정할 수 있는 가능성을 추구 해야 할 것이다.

요 약

서해권 해역의 경우, 총 23 개 조사정점 중 I등급 1 개, II등급 17 개, III등급 5 개 정점으로 대체로 II등급의 수질을 유지하고

있었다. 남해권 해역의 경우, 총 24 개 조사정점 중, I등급 5 개, II등급 16 개, III등급 3 개 정점으로 나타났으며 대체로 말뚝성계의 초기 배 발생에 약간의 저해를 주는 II등급의 수질을 유지하고 있었다. 동해권 해역의 경우, 총 20 개 조사정점 중, I등급 12 개, II등급 7 개, III등급 1 개 정점으로 말뚝성계의 초기 배 발생에 저해를 주지 않는 비교적 깨끗한 수질로 I, II등급의 수질을 유지하고 있었다.

참고문헌

- 환경정보센터, 1996. 환경정보감. 제 6권, 환경정보센터, 1283 pp.
- Dinnel, P.A., J.M. Link and Q.J. Stober, 1987. Improved methodology for a sea urchin sperm cell bioassay for marine water. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, **16**: 23—32.
- Dinnel, P.A., J.M. Link, Q.J. Stober, M.W. Letourneau and W.E. Roberts, 1989. Comparative sensitivity of sea urchin sperm bioassays to metals and pesticides. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, **18**: 748—755.
- Fujisawa, H., 1989. Differences in temperature dependence of early development of sea urchins with different growing season. *Ref. Biol.*, **176**: 96—102.
- Greenwood, P.J., 1983. The influence of an oil dispersant chemserve OSE-DH on the viability of sea urchin gametes. combined effects of temperature, concentration and exposure time on fertilization. *Aqua. Toxicol.*, **4**: 15—29.
- Hoadley, L., 1923. Certain effects of the salts of the heavy metals on the fertilization reaction in *Arbacia punctulata*. *Biol. Bull.*, **44**: 255—280.
- Kobayashi, N., 1972. Marine pollution bioassay by using sea urchin eggs in the inland sea of Japan. *Publ. Seto Mar. Biol. Lab.*, **19**: 359—381.
- Kobayashi, N., 1973. Studies on the effects of some agents on fertilized sea urchin eggs, as a part of the bases for marine pollution bioassay I. *Publ. Seto Mar. Biol. Lab.*, **19**: 109—114.
- Kobayashi, N., 1974. Marine pollution bioassay by sea urchin eggs, an attempt to enhance accuracy. *Publ. Seto Mar. Biol. Lab.*, **21**: 377—391.
- Kobayashi, N., 1977. Bioassay data for marine pollution using sea urchin eggs. *Publ. Seto Mar. Biol. Lab.*, **23**: 427—433.
- Kobayashi, N., 1981. Comparative toxicity of various chemicals, oil extracts and oil dispersant extracts to canadian and japanese sea urchin eggs. *Publ. Seto Mar. Biol. Lab.*, **26**: 123—133.
- Kobayashi, N., 1984. Marine ecotoxicological testing with echinoderms. In: *Ecotoxicological Testing for the Marine Environment*. Vol. I, edited by Persoone, G., E. Jaspers and C. Claus, State University Ghent, Bredene (Belgium), pp. 34—405.
- Lillie, F.R., 1921. Studies of fertilization. X. the effect of copper salts on the fertilization reaction in *Arbacia* and a comparison of mercury effects. *Biol. Bull.*, **41**: 125—143.
- Lonning, S. and B.E. Hagstrom, 1975. The effects of crude oils and the dispersant Corexit 8666 on sea urchin gametes and embryos. *Norw. J. Zool.*, **23**: 121—129.
- Lonning, S., 1977. The sea urchin egg as a testing object in oil pollution studies. In: *Petroteum Hydrocarbons in the Marine Environment*, edited by McIntyre, A.D. and K. Wittle, *Rapp. P.V. Reun. Cons. Int. Expior. Mer.*, **171**: 186—188.
- Monroy, A., 1986. A centennial debt of development biology to the sea urchin. *Biol. Bull.*, **171**: 509—519.
- Norman, M.T., M. Cipollaro, G. Corsale, A. Esposito, E. Ragucci, G.G. Giordano, V. Sadagopa, N. Ramanujam, L. David and G. Pagano, 1988. Aroclor 1254 toxicity in sea urchin embryos and gametes. *Exp. Oncol.*, **7**: 57—64.
- Pagano, G., A. Esposito, P. Bove, M.D. Angelis, A. Rota and G. Giordano, 1983. The effects of hexavalent and trivalent chromium on fertilization and development in sea urchins. *Environ. Res.*, **30**: 442—452.
- Pagano, G., M. Cipollaro, G. Corsale, A. Esposito, E. Ragucci and G. Giordano, 1985. pH-induced Changes in mitotic and developmental patterns in sea urchin embryogenesis. II. Exposure of sperm. *Teratogen. Carcinogen. Mutagen.*, **5**: 113—121.
- Pagano, G., M. Cipollaro, G. Corsale, A. Esposito, G.G. Giordano, E. Ragucci and N.M. Trieff, 1988a. Comparative toxicities of benaene, chiorbenzene, and dichlorobenzenes to sea urchin embryos and sperm. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, **40**: 481—488.
- Pagano, G., M. Cipollaro, G. Corsale, A. Esposito, A. Mineo, E. Ragucci, G.G. Giordano, N. Kobayashi and N.M. Trieff, 1988b. Effects of sodium azide on sea urchin embryos and gametes. *Teratogen. Carciogen. Mutagen.*, **8**: 363—376.
- Yu, C.M., 1997. Quality Evaluation of Off-shore Water in Korea by Bioassay Using Korean Marine Invertebrata (Sea Urchins, Sea Stars). Ph. D. Thesis, Chonnam National University, Kwangju, 89 pp.

1998년 1월 8일 원고 접수

1998년 3월 16일 수정본 채택