

해양생태독성 평가용 표준시험생물로서 섬모충류 *Mesodinium rubrum*에 대한 연구

안경호 · 박경수^{1)*} · 이승민²⁾

국립수산과학원 갯벌연구소, ¹⁾안양대학교 해양생명공학과, ²⁾국립수산과학원 서해수산연구소
(2011년 4월 15일 접수; 2011년 6월 15일 수정; 2011년 7월 27일 채택)

Potential of Marine Ciliate *Mesodinium rubrum* as a Standard Test Species for Marine Ecotoxicological Study

Kyoung Ho An, Gyung Soo Park^{1)*}, Seung Min Lee²⁾

Tidal Flat Research Institute, NFRDI, Gunsan 573-882, Korea

¹⁾Department of Marine Biotechnology, Anyang University, Incheon 417-833, Korea

²⁾West Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Incheon 400-420, Korea

(Manuscript received 15 April, 2011; revised 15 June, 2011; accepted 27 July, 2011)

Abstract

The mixotrophic marine ciliate *Mesodinium rubrum* possesses a highly modified algal endosymbiont as a nutrition source for the species. Accordingly, we assumed that the species can reflect the ecotoxicity on marine producer (as phytoplankton) and consumer (as zooplankton) both. A series of experiments were conducted to identify the potential of the species as a standard test species for marine ecotoxicological study. The comparison of species sensitivity on reference toxic materials was made using potassium dichromate for phytoplankton and copper chloride for zooplankton. The ciliate revealed the highest sensitivity on both reference materials among the seven test species including phytoplankton, benthic copepod and rotifer species. The toxicity end point of the species was 72hr-EC₅₀=1.52 mg/L (as potassium dichromate) estimated by population growth inhibition (PGI), which is more sensitive than the most sensitive phytoplankton *Skeletonema costatum* (72hr-EC₅₀=3.05 mg/L). As comparison to rotifer, it also revealed higher sensitivity on copper chloride; 72hr-EC₅₀=0.38 mg/L for ciliate and 48hr-EC₅₀=0.48 mg/L for rotifer. Also, the elutriate toxicity test of various ocean disposal wastes were conducted to identify the potential of ciliate toxicity test application using industrial waste sludges. The toxicity of leather processing waste sludge was highest on the ciliate, followed by dyeing waste sludge and dye production waste sludge as an increasing order of toxicity. 72h-EC₅₀ of ciliate PGI test was 1.83% and that of *S. costatum* 3.84% for leather waste sludge which showed highest toxicity. The toxicity test results also revealed that the highest sensitivity was observed on ciliate species on ocean disposed sludge wastes. Also, ciliate toxicity test well discriminated the degree of toxicity between sludge sources; 72h-EC₅₀ values were 1.83% for leather processing waste sludge, 16.75% for dye production waste sludge and 27.75% for textile production waste sludge. Even the laboratory culture methods of the species were not generally established yet, the species has high potential as the standard test species for marine toxicity test in terms of the dual reflection of phyto- and zooplankton toxicity from single test, sensitivity and test replicability.

Key Words : Ecotoxicity, Phototrophic ciliate, *Mesodinium rubrum*, Standard test species

*Corresponding author : Gyung Soo Park, Department of Marine Biotechnology, Anyang University, Incheon 417-833, Korea
Phone: +82-32-930-6032
E-mail: gspark@anyang.ac.kr

1. 서론

수서생태계의 기초생산자를 이용한 독성시험은 국제적으로 다양한 시험방법이 개발되어 사용 중이며 (이 등, 2008a; APHA 등, 1995; ISO, 1995; NIWA,

1998), 1차 소비자인 동물플랑크톤을 이용한 독성시험법(이 등, 2008b; ASTM, 1996; Forget 등, 1998; Snell과 Persoone, 1989) 역시 다양하게 개발되어 있다. 그러나 해양생태계에서 혼합영양을 하는 원생동물에 대한 독성시험법은 아직 개발된 적이 없다. 따라서 해양으로 배출되는 미지의 독성물질에 대하여 해양생태계를 구성하는 생산자와 소비자의 영향을 동시에 평가하기 위하여 동·식물적 특성을 모두 갖고 있는 해양섬모충류인 *M. rubrum* 종을 표준시험생물 후보종으로 선정하였다. *M. rubrum*은 전 세계 연안에 널리 분포하는 적조 원인 생물이며(Lindholm, 1985; Powers, 1932; Taylor 등, 1971), 내부에 공생 조류인 *Teleaulax* sp.를 섭취함으로써 공생조류의 색소를 이용한 광합성작용에 의해 영양을 공급받기도 한다(Barber 등, 1969; Hibberd, 1977; Oakley와 Taylor 1978).

일반적으로 독성시험은 미지의 물질이나 여러 물질이 공존할 때 발생하는 독성 상승효과 등에 대한 생물학적 영향을 구명하는 실험과정으로서 동일물질에 대한 상이한 생물학적 반응을 보이는 점을 고려하여 다양한 시험생물을 이용한다. 특히 해양생태계에서는 박테리아, 식물플랑크톤, 동물플랑크톤 및 소형 어류 등을 이용한 시험방법이 다양하게 개발되어 이용되고 있다(박 등, 2008a; 박 등, 2008b; APHA 등, 1995; ISO, 1995; NIWA, 1998; OECD, <http://oberon.sourceoecd.org>; USEPA, 2002). 그러나 상기 생물은 생태계의 분해자, 생산자 및 소비자를 각각 대표하는 생물군으로서 어느 한 종의 실험결과가 다른 종의 실험결과를 대변할 수 없는 상호 독립된 결과를 보인다. 따라서 생리, 생태적으로 동물 및 식물적 특성을 모두 지닌 *M. rubrum*은 독성시험시 동물 및 식물적 특성을 모두 반영할 수 있다는 장점이 있다. 따라서 본 연구의 목적은 상기 생물종이 해양생태계의 유해물질에 대한 동·식물학적 특성을 모두 반영할 수 있는 해양생태독성 평가용 표준시험생물로서의 가능성을 규명하는데 있다.

2. 재료 및 방법

2.1. 시험생물

해양섬모충류인 *M. rubrum*은 전 세계 연안에 널리 분포하는 종으로, 본 시험에 사용된 종은 서해연안의

곰소만(35°40'N, 126°40'E)에서 채집되었으며, 군산대학교 해양과학대학 해양학과 이원호 교수 실험실에서 5년 이상 단일종 배양을 통하여 실험실에서 보유하고 있는 *M. rubrum* (strain MR-MAL01)으로 독성시험을 실시하였다(Yih 등, 2004). 시험생물은 독성시험 이전에 시험 조건과 동일한 환경에서 최소 2회 이상의 계대배양(약 7일)이 이루어졌으며, 독성시험 이전에 개체군성장이 지수성장기에 도달될 수 있도록 독성시험 24시간 이전에 500 mL 폴리카보네이트병에 *M. rubrum*과 먹이생물인 은편모조류 *Teleaulax* sp. (strain CR-MAL01)를 1:5 비율로 넣어주고 72시간의 실험기간 동안에는 추가로 먹이공급을 하지 않았다. *M. rubrum*은 항온온도 15°C에서 배양하였으며, 조도는 형광등을 이용하여 60 $\mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$ 로 연속명기를 유지하였고 영양배지는 f/2 배지를 이용하였다(Table 1). 본 실험과 비교 대상으로 이용된 식물플랑크톤 6종, 저서성요각류인 *Tigriopus japonicus*, 그리고 윤충류인 *Brachionus plicatilis*는 국내 표준시험종으로 선정

Table 1. Summary of test conditions for the toxicity test with the marine protozoan ciliate *Mesodinium rubrum*

Parameters	Conditions
Test type	static non-renewal
Endpoint	population growth inhibition (EC ₅₀)
Test organism	<i>Mesodinium rubrum</i>
Test duration	72 hr
Test temperature	15±1 °C
Test salinity	20~30 psu
Light type	fluorescent lamp (universal white)
Light intensity	60 $\mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$
Photoperiod	continuous
Test chamber size	70 mL (polycarbonate bottle)
Test solution volume	50 mL
Dilution water	natural or artificial seawater
Renewal of test solution	none
Aeration	none
Food	<i>Teleaulax</i> sp.
Initial cell density	50~100 cells/mL
Feeding regime	none
Culture media	f/2 media
Cell density counting	every 24hr (T ₀ , T ₂₄ , T ₄₈ , T ₇₂)
Test concentrations	five+control
Number of replicates per concentration	3

되어 광범위하게 이용되는 종으로 판단되어 본 결과의 비교 대상으로 선정하였다 (박 등, 2008b; 이 등, 2008a; 이 등, 2008b).

2.2. 시험용액의 제조

혼합영양 생물인 *M. rubrum*의 독성물질에 대한 민감도를 검증하기 위하여, 우선 ISO (1995)에서 제시한 식물플랑크톤의 표준독성물질인 Potassium dichromate ($K_2Cr_2O_7$, Merck, Germany)를 사용하였으며, 동물플랑크톤의 표준독성물질인 copper chloride ($CuCl_2$, Aldrich, USA)를 이용하여 개체군성장저해율을 측정하였다. 농도별 표준용액은 최고 농도의 표준용액을 제조한 후 이를 순차적으로 희석하였으며, 대조구를 포함하여 6개 농도 구간에서 각각의 농도별로 살아있는 개체를 계수하여 72시간 개체군성장률(EC_{50})을 측정하였다(이 등, 2008a).

또한 해양으로 유입되는 유해물질에 대한 독성실험을 위하여 산업폐수오니를 채취하여 독성실험에 이용하였다. 채취된 오니는 냉장 상태로 운반하여 폐기물공정시험법에 따라 용출하였으나, 상기 오니가 해양으로 투기되어 해양생물에 미치는 영향을 구명하고자 하므로 모래 및 카본필터로 여과한 자연해수를 0.45 μm membrane filter로 재여과하여 용출하였다. 하수오니 추출은 여과해수(26.2~28.0 psu)와 오니의 비율을 10:1(V:W)로 혼합하여, 진탕기(JEIO TECH, Korea)로 6시간 동안 잘 흔든 후 용출된 폐수는 GF/C 필터(0.45 μm , Whatman, USA)로 여과하여 실험에 사용하였다. 독성실험을 위한 하수오니 추출액은 용출한 시료를 최고 농도(100%)로 설정한 후 이를 순차적으로 희석하여 대조구(0%)를 포함한 6개 농도(6.3, 12.5, 25.0, 50.0, 100.0%)를 제조하여 3 반복으로 실험하였다. 시험용기는 70 mL 폴리카보네이트 병을 이용하였으며, 시험용액을 각 농도별로 50 mL씩 시험용기에 분주하였다.

2.3. 독성실험

지수성장기의 시험생물을 50 mL 시험용액에 초기 세포농도가 약 50~100 cells/mL이 되도록 접종한 후 f/2 영양배지를 넣어주었으며, 시험생물 접종시 각 시험구마다 최소 3회 이상 나누어 접종하였다. 시험 시

각시 각 시험구별로 염분, 수온, 용존산소 및 pH를 측정하여 독성시험지에 기록하였다. 섬모충의 개체군성장률을 측정하기 위하여 24시간 간격으로 시험용기에서 2 mL의 시료를 채취하여 Lugol 용액으로 고정한 후 현미경하에서 섬모충의 개체수를 계수하였다. 개체군성장률(r)은 $r=(\ln N_t - \ln N_0)/t$ (r =개체군성장률, N_t =실험 종료 후의 세포밀도, N_0 =초기세포밀도, t =배양시간)의 식으로 구하였다. 각 농도별로 r 값을 계산한 후 이를 이용하여 72시간 반수영향농도(50% effective concentration, EC_{50})를 계산하였다.

2.4. 자료분석

독성실험에 대한 end points는 대조구의 개체군성장률 대비 50%에 이르는 성장저해율인 EC_{50} (50% population growth inhibition concentration)을 계산하였다. 계산 방법은 각 실험구에서의 개체군성장률을 계산한 후 Linear interpolation 방법으로 EC_{50} 을 산정하였다. 성장률 자료는 Shapiro-Wilk's test (1965)로 자료의 정규분포를 그리고 Bartlett's test (Snedecor와 Cochran, 1989)로 분산의 동일성을 검증하였으며, NOEC (No observed effective concentration)와 LOEC (Lowest observed effective concentration)의 산출은 Dunnett's test (1964)를 이용하여 유의수준 $\alpha=0.05$ 에서 검증하였다. 상기 자료분석은 독성자료 처리 프로그램인 TOXCALC (Tidepool Scientific Software, USA)을 이용하였다.

3. 결과

3.1. 표준독성물질을 이용한 민감도 실험

생태독성시험에 사용하는 표준시험종의 가장 중요한 조건은 독성물질에 대한 민감도가 높아야 하며, 생태계를 구성하는 생산자, 소비자 및 분해자에 대한 표준시험생물별 표준독성물질이 규정되어 있다 (이 등, 2008a; ISO, 1995). 따라서 해양 생태계의 생산자를 대표하는 식물플랑크톤과 1차 소비자인 동물플랑크톤의 표준독성시험물질인 potassium dichromate와 copper chloride를 이용하여 *M. rubrum*의 표준독성물질에 대한 민감도를 실험하였다.

해양생태계의 1차 소비자인 동물플랑크톤과 섬모

층의 독성 민감도 비교를 위하여 표준독성물질인 copper chloride에 대한 개체군성장률저해 실험을 실시한 결과, *M. rubrum*의 72h-EC₅₀은 0.38 (0.37-0.38) mg/L로, 해산 윤충류 *Brachionus plicatilis*의 48h-EC₅₀인 0.48 (0.47-0.49) mg/L 보다 더 낮은 농도에서 반수 개체군성장률저해를 보임으로써 표준물질에 대한 독성 민감도가 윤충류보다 더 높은 것으로 나타났다 (Table 2).

Table 2. Comparison of 72hr EC₅₀ and 48hr EC₅₀ using copper chloride as a reference material with *M. rubrum* and rotifer *B. plicatilis* (unit : mg/L). NOECs and LOECs were calculated by multiple comparison test (Dunnett's Test) at $\alpha=0.05$ significance level

Species name	EC ₅₀	95% CI	NOEC	LOEC
<i>M. rubrum</i>	0.38	0.37-0.38	0.25	0.50
<i>B. plicatilis</i>	0.48	0.47-0.49	< 0.13	0.13

또한 해양생태계의 주요 생산자인 식물플랑크톤과 섬모충의 독성 민감도 비교를 위하여 표준독성물질인 potassium dichromate에 대한 개체군성장률저해 실험을 실시한 결과, 섬모충이 다른 6종의 식물플랑크톤보다 더 민감한 것으로 나타났다. *M. rubrum*의 72시간 EC₅₀은 1.52(0.20-3.31) mg/L로 가장 낮은 농도에서 반수개체군성장저해를 보였다. 식물플랑크톤중 가장 민감한 종인 규조류 *Skeletonema costatum*의 EC₅₀은 3.05(2.27-3.32) mg/L로 *M. rubrum* 보다 2배 높은 농도에서 반수개체군성장저해를 보였고, 가장 둔감한 종인 *Tetraselmis suecica*의 EC₅₀은 9.40(8.83-9.99) mg/L로 6배 이상 높은 농도에서 반수개체군성장저해를 보임으로써 *M. rubrum*의 민감도가 가장 높은 것으로 나타났다. 즉 식물플랑크톤 6종의 EC₅₀ 보다 더 낮은 농도에서 반수개체군성장률저해를 보임으로써 섬모충이 표준독성물질에 대한 민감도가 시험 대상종중 가장 높은 것으로 나타났다(Table 3, Fig. 1).

따라서 해양섬모충류인 *M. rubrum*은 해산 윤충류 및 식물플랑크톤과 비교하여 표준독성물질인 copper chloride와 potassium dichromate에 대한 민감도가 가장 높은 것으로 나타났다(Table 2, Table 3).

Table 3. Comparison of 72hr EC₅₀'s using potassium dichromate as a reference material with *M. rubrum* and 6 phytoplankton species (unit : mg/L). NOECs and LOECs were calculated by multiple comparison test (Dunnett's Test) at $\alpha=0.05$ significance level

Test species	EC ₅₀	95% CI	NOEC	LOEC
<i>Mesodinium rubrum</i>	1.52	0.20-3.31	1.00	2.00
<i>Skeletonema costatum</i>	3.05	2.77-3.32	1.25	2.50
<i>Prorocentrum minimum</i>	3.29	2.62-3.62	1.25	2.50
<i>Heterosigma akashiwo</i>	5.94	5.23-6.57	<1.25	1.25
<i>Isochrysis galbana</i>	6.27	5.66-6.83	<1.25	1.25
<i>Prorocentrum micans</i>	7.52	5.77-9.72	<1.25	1.25
<i>Tetraselmis suecica</i>	9.40	8.83-9.99	<2.50	2.50

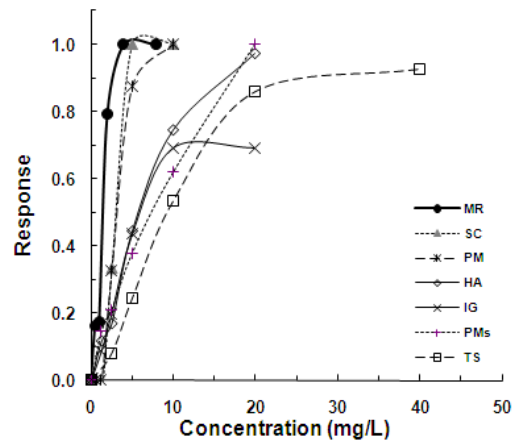


Fig. 1. Concentration-response curve for *M. rubrum* and 6 phytoplankton species (SC; *S. costatum*, PM; *P. minimum*, HA; *H. akashiwo*, IG; *I. galbana*, PMs; *P. micans*, TS; *T. suecica*) exposed to potassium dichromate.

3.2. 해양 배출 오염물질을 이용한 적용 실험

생태독성시험에 사용하는 표준시험종의 중요한 조건은 위의 표준물질에 대한 독성 민감도 이외에 실제 해양오염물질에 적용이 가능하여야 한다. 따라서 현재 해양투기가 이루어지고 있는 산업폐수오니(피혁, 염색, 염료)를 이용하여 섬모충, 규조류, 해조류, 윤충류, 저서요각류, 어류를 대표하는 6종에 대한 독성실험을 실시하였다. 동일 물질에 대한 6종의 독성실험결과, 섬모충은 다른 5종에 비하여 독성 민감도가 가장 높거나 또는 가장 민감도가 높은 다른 시험종과 유사

한 민감도를 보였다.

피혁공장폐수오니, 염색공장폐수오니, 염료공장폐수오니에 대한 각 시험종의 반수개체군성장률저해농도(EC₅₀) 또는 반수치사농도(LC₅₀)를 산출한 결과, 대부분의 시험생물군에서 피혁공장폐수오니의 독성이 가장 강하게 나타났으며, 그 다음으로 염색공장폐수오니, 염료공장폐수오니 순으로 강한 독성을 보였다. 즉, 서로 다른 생물군을 이용한 생물검정실험에서 해양으로 유입되는 오염물질에 대한 독성결과가 뚜렷하게 구분되었다(Table 4).

가장 강한 독성을 나타낸 피혁공장폐수오니에서 해양섬모충인 *M. rubrum*의 72h-EC₅₀=1.83%로 가장 민감한 반응을 보였으며, 그 다음으로 민감한 종은 규조류인 *S. costatum*으로 72h-EC₅₀=3.84%로 나타났다(Table 4). 가장 둔감한 종은 저서요각류인 *T. japonicus*와 윤충류인 *B. plicatilis*로 48시간 LC₅₀이 각각 36.20%, 36.99%로 나타났다. 따라서 해양섬모충은 다른 시험생물과 비교하여 해양투기 물질인 산업폐수오니의 추출액 독성시험에서 가장 민감한 종으로 나타났으며, 가장 둔감했던 윤충류보다 20배정도 민감한 결과를 보였다(Table 4).

4. 고찰

생태독성평가시 해양생태계를 대표하는 분해자, 생산자 및 소비자 그룹중 생태계 내에서의 영양학적 역할, 경제성 및 종의 유용성 등을 고려하여 표준시험생물을 선정하게 된다(박 등, 2005; 박 등, 2008a; 박 등, 2008b; Burton, 1992; Rand와 Petrocelli, 1985). 따라서 영양학적으로 소비자인 동시에 먹이생물의 색소를 이용하여 생산자의 역할을 하는 해양섬모충류

*M. rubrum*은 매우 유용한 표준시험종으로 판단된다.

그러나 섬모충류를 이용한 독성 시험 가능성은 많이 연구되어 왔으나, 본 연구에서처럼 *M. rubrum*이 혼합영양식자임을 고려하여 생산자 및 소비자의 특성을 동시에 고려한 연구는 없었다. 섬모충류를 이용한 독성시험 연구가 제한된 이후로 (Persoone와 Dive, 1978), 담수산 섬모충류를 이용한 중금속 독성 시험 (Madoni, 2000), 약품독성 (Dimitrov 등, 2003), 담수산 섬모충류를 이용한 살충제 독성시험 (Dive 등, 1981; Hussain 등, 2008), 중금속 및 POPs (Twagilimana 등, 1998; Nalecz-Jawecki와 Sawicki, 2002), 유류 및 유화제 독성 시험 (Rogerson과 Berger, 1981) 등 다양한 분야에 이용되어 왔다. 특히 중금속 및 지속성 오염물질에 민감한 것으로 알려져 있으며 (Twagilimana 등, 1998; Madoni, 2000). 많은 연구자들이 섬모충류를 독성시험시 battery test의 일환으로 이용할 것을 제시해 왔다 (Rojickova-Padrtova 등, 1998; Novotny 등, 2006). 따라서 섬모충류를 이용한 많은 국제적 연구 결과를 고려할 때 아래의 문제점만 보완된다면 매우 경제적인 표준시험종으로 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

해양생태독성시험용 표준생물은 염분에 대한 광범위한 내성을 보이는 종을 선호한다. 그 이유는 시험생물이 혐염성 (stenohaline species)일 경우 시험대상물질의 염분을 조절하여야하며 그 과정에서 시험대상물질의 독성이 변할 수 있기 때문이다(박 등, 2008b). 그러나 기존의 연구 결과 *M. rubrum*의 염분 내성 범위는 10~30 psu(김 등, 2004; 명, 2004)로 다른 시험생물에 비하여 염분 내성 범위가 좁은 것으로 나타났다(박 등, 2008a, 2008b; 이 등, 2008a, 2008b). 따라서

Table 4. Comparison of toxicity endpoints estimated by various species using three industrial waste sludge elutriates. Seaweed toxicity data were provided by Dr. TJ Han at Incheon University

Sludge sources	Ciliate	Diatom	Sea weed	Rotifer	Benthic copepod	Fish
	<i>M. rubrum</i>	<i>S. costatum</i>	<i>U. pertusa</i>	<i>B. plicatilis</i>	<i>T. japonicus</i>	<i>O. latipes</i>
	72h-EC ₅₀	72h-EC ₅₀	5d-EC ₅₀	48h-LC ₅₀	48h-LC ₅₀	7d-LC ₅₀
Leather processing	1.83	3.84	13.48	36.99	36.20	14.95
Dye production	16.75	17.71	12.88	51.44	61.24	62.03
Textile production	27.75	22.78	61.52	>100	>100	>100

섬모충을 이용한 독성시험시 시험대상물질의 염분이 10-30 psu 범위를 벗어날 경우에는 시험물질을 초순수로 희석하거나 염을 첨가하여 위의 염분 범위로 조절해야 한다.

또한 표준시험생물은 독성시험시 많은 양(또는 수)이 필요하므로 실험실에서 상시 배양할 수 있는 종을 선호한다. 그 이유는 시험종이 지속적으로 단일 배양이 이루어지지 않을 경우 독성물질에 대한 반응이 일정하지 않을 수 있으며, 독성 실험시에 충분한 양의 시험생물을 확보하는데 어려움이 있기 때문이다 (박 등 2008a, 2008b). 그러나 상기 시험생물은 일부 실험실(예, 군산대학교)에서 상시 배양이 이루어지고 있기는 하나 다른 시험생물에 비하여 계대 배양 체제가 잘 보급되지 않은 단점이 있다.

따라서 *M. rubrum*의 지속적 대량배양 체제만 구축된다면 해양섬모충류인 *M. rubrum*은 매우 유용한 독성시험용 표준생물로 생각된다. 특히 시험생물의 민감도가 다른 시험생물에 비하여 가장 높았으며, 실제 해양오염물질에 대한 독성 정도의 판별력 및 일관성이 뚜렷하여 시험 생물로서의 가능성이 높은 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국립수산업과학원 R&D과제 (RP-2008-ME-031)로 수행되었으며, 시험생물인 해양섬모충류 시료를 제공해주신 군산대학교 이원호 교수님과 실험에 대한 조언을 주신 명금옥 박사님께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 김형섭, 김영길, 양재삼, 이원호, 2004, 곰소만의 금강하구역에서 광합성 섬모류 *Mesodinium rubrum* 개체군의 변동, 한국해양학회지 바다, 9, 164-172.
- 명금옥, 2004, 해양광합성 섬모류 *Mesodinium rubrum* 종주와 먹이생물인 은편모류 종주간의 상호작용을 조절하는 생태학적 요인, 석사학위 논문, 군산대학교 대학원.
- 박경수, 이상희, 이승민, 윤성진, 박승윤, 2005, 해양생태독성평가를 위한 표준시험생물로서의 식물플랑크톤에 관한 연구, 한국환경과학회지, 14, 1129-1139.
- 박경수, 강주찬, 윤성진, 이승민, 황운기, 2008a, 어류 자어의 사망률을 이용한 해양생태독성 시험방법에 관한 연구, 한국해양학회지 바다, 13, 140-146.
- 박경수, 이승민, 한태준, 이정석, 2008b, 해양생태독성평가를 위한 표준시험방법 개발에 관한 연구, 한국해양학회지 바다, 13, 106-111.
- 이승민, 박경수, 안경호, 박승윤, 이상희, 2008a, 식물플랑크톤의 개체군성장저해율을 이용한 해양생태독성 시험방법에 관한 연구, 한국해양학회지 바다, 13, 112-120.
- 이승민, 박경수, 윤성진, 강영실, 오정환, 2008b, 윤충류 *Brachionus plicatilis* 및 저서요각류 *Tigriopus japonicus*의 초기 생활사를 이용한 해양생태독성 시험방법에 관한 연구, 한국해양학회지 바다, 13, 129-139.
- APHA, AWWA, WEF, 1995, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, Washington DC, 1-47.
- ASTM, 1996, Standard Guide for Acute Toxicity Test with the Rotifer *Brachionus*, ASTM (American Society for Testing and Materials) 11.05, E1440-91, ASTM, W. Conshohocken, PA.
- Barber, R. T., White, A. W., Siegelman, H. W., 1969, Evidence for a cryptomonad symbiont in the ciliate *Cyclotrichium meunieri*, J. Phycol., 5, 86-88.
- Burton, G. A., 1992, Sediment Toxicity Assessment, Lewis Publishers Inc., Chelsea, 457.
- Dimitrov, S. D., Mekenyan, O. G., Sinks, G. D., Schultz, T. W., 2003, Global modeling of narcotic chemicals: ciliate and fish toxicity, J. of Molecular Structure (Theochem), 622, 63-70.
- Dive, D., Leclerc, H., Persoone, G., 1981, Pesticide toxicity on the ciliate protozoan *Colpidium campulum*: Possible consequences of the effect of pesticides in the aquatic environment, Ecotoxicology and Environmental Safety, 4, 129-133.
- Dunnnett, C. W., 1964, New table for multiple comparisons with a control, Biometrics, 20, 482.
- Forget, J., Pavillon, J. F., Menasria, M. R., Bocquene, G., 1998, Mortality and LC₅₀ for several stages of marine copepod *Tigriopus brevicornis* (Muller) exposed to the metals arsenic and Cadmium and the pesticides atrazine, carbofuran, dichlorvos, and malathion, Ecotoxicology and Environmental

- Safety, 40, 239-244.
- Hibberd, D. J., 1977, Ultrastructure of the cryptomonad endo-symbiont of the red-water ciliate *Mesodinium rubrum*, J. Mar. Biol. Assoc. UK., 57, 45-61.
- Hussain, M. M., Amanchi, N. R., Solanki, V. R., Bhagavathi, M., 2008, Low cost microbioassay test for assessing cytopathological and physiological responses of ciliate model *Paramecium caudatum* to carbofuran pesticide, Pesticide Biochemistry and Physiology, 90, 66-70.
- ISO, 1995, Water quality- marine algal growth inhibition test with *Skeletonema costatum* and *Phaeodactylum tricorutum*, The International Organization for Standardization, ISO 10253, 7.
- Lindholm, T., 1985, Advances in Aquatic Microbiology, (eds Jannasch H.W. & Williams P.J.) Academic, London, 3, 1-48.
- Madoni, P., 2000, The acute toxicity of nickel to freshwater ciliates, Environmental Pollution, 109, 53-59.
- Nalecz-Jawacki, G., Sawicki, J., 2002, The toxicity of tri-substituted benzenes to the protozoan ciliate *Spirostomum ambiguum*, Chemosphere, 46, 333-337.
- NIWA, 1998, Marine Algae (*Dunaliella tertiolecta*) Chronic Toxicity Test Protocol, National Institute of Water and Atmospheric Research, New Zealand, 30.
- Novotny, C., Dias, N., Kapanen, A., Malachova, K., Vandrovцова, M., Itavaara, M., Lima, N., 2006, Comparative use of bacterial, algal and protozoan tests to study toxicity of azo- and anthraquinone dyes, Chemosphere, 63, 1436-1442.
- Oakley, B. R., Taylor, F. J. R., 1978, Evidence for a new type of endosymbiotic organization in a population of the ciliate *Mesodinium rubrum* from British Columbia, BioSystems, 10, 361-369.
- Persoone, G., Dive, D., 1978, Toxicity test on ciliates, Ecotoxicology and Environmental Safety, 2, 105-114.
- Powers, P. B. A., 1932, *Cyclotrichium meunieri* sp. nov. (Protozoa, Ciliata) cause of red water in the Gulf of Maine, Biol. Bull. Woods Hole, 63, 74-80.
- Rand, G. M., Petrocelli, S. R., 1985, Fundamentals of Aquatic Toxicology, Hemisphere Publishing Corporation, Washington, 666.
- Rogerson, A., Berger, J., 1981, The toxicity of the dispersant Corexit 9527 and oil-dispersant mixtures to ciliate protozoa, Chemosphere, 10, 33-39.
- Rojickova-Padrtova, R., Marsalek, B., Holoubek, I., 1998, Evaluation of alternative and standard toxicity assays for screening of environmental samples: selection of an optional test battery, Chemosphere, 37, 495-507.
- Shapiro, S. S., Wilk, M. B., 1965, An analysis of variance test for normality (complete samples), Biometrika, 52, 591-611.
- Snedecor, G. W., Cochran, W. G., 1989, Statistical Methods, Eighth Edition, Iowa State University Press.
- Snell, T. W., Persoone, G., 1989, Acute toxicity bioassays using rotifers, I. A test for brackish and marine environments with *Brachionus plicatilis*, Aquatic Toxicology, 14, 65-80.
- Taylor, F. J. R., Blackburn, D. J., Blackburn, J., 1971, The red-water ciliate *Mesodinium rubrum* and its 'incomplete symbionts': a review including new ultrastructural observations (RV), J. Fish. Res. Board Can., 28(3), 391-407.
- Twagilimana, M., Bohatier, J., Groliere, C. A., Bonnemoy, F., Sargos, D., 1998, A New Low-Cost microbiotest with the protozoan *Spirostomum teres*: Culture conditions and assessment of sensitivity of the ciliate to 14 pure chemicals, Ecotoxicology and Environmental Safety, 41, 231-244.
- USEPA, 2002, Methods for measuring the acute toxicity of effluents and receiving water to freshwater and marine organisms, United States Environmental Protection Agency, 1-122.
- Yih, W. Y., Kim, H. S., Jeong, H. J., Myung, G., Kim, Y. G., 2004, Ingestion of cryptophyte cells by the marine photosynthetic ciliate *Mesodinium rubrum*, Aqu. Mic. Ecol., 36, 165-170.