

## Radiofrequency에 노출된 *Chlamydomonas* sp.의 mycosporine-like amino acids 생합성 유전자 발현

황진익<sup>1</sup>, 모상현<sup>2</sup>, 장만<sup>3</sup>, 이건설<sup>1</sup>, 이주연<sup>3</sup>, 김동균<sup>4</sup>, 이택견<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>한국해양과학기술원 남해특성연구부, <sup>2</sup>바이오프디엔씨 항노화연구소,

<sup>3</sup>한국해양과학기술원 해양생태계연구부, <sup>4</sup>신라대학교 생물과학과

## Expression of Mycosporine-like Amino Acids Biosynthetic Genes in the *Chlamydomonas* sp. Exposed to Radiofrequency

Jinik Hwang<sup>1</sup>, Sang Hyun Moh<sup>2</sup>, Man Chang<sup>3</sup>, Gunsup Lee<sup>1</sup>, Juyun Lee<sup>3</sup>,  
Donggiun Kim<sup>4</sup> and Taek-Kyun Lee<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>South Sea Environment Research Department, Korea Institute of Ocean Science & Technology

<sup>2</sup>Anti-aging Research Institute of BIO-FD&C Co.,Ltd.

<sup>3</sup>Marine Ecosystem Research Division, Korea Institute of Ocean Science & Technology,

<sup>4</sup>Department of Biological Science, Silla University

**요 약** Mycosporine-like 아미노산(MAAs)은 UV 흡수물질이며, 다양한 해양생물들은 MAAs의 합성과 축적을 통하여 환경 자외선의 직·간접적인 영향을 감소시키는 기능을 진화시켜 왔다. 이 연구에서 우리는 radiofrequency(RF) 발생장치를 제작하였고, 이를 미세조류 배양에 적용하였다. 0.35±0.05 mHz의 RF를 *Chlamydomonas* sp. 배양기에 공급하였고, 정해진 시간(0, 0.5, 1 및 2 시간)에 시료를 채취하였다. MAAs 생합성 관련 유전자인 dehydroquinase synthase homolog (DHQS-like)와 nonribosomal peptide synthetase homolog (NRPS-like) 유전자를 *Chlamydomonas* sp.로부터 클로닝하였고, RF 노출에 대한 유전자 발현을 qRT-PCR을 이용하여 분석하였다. 연구결과 RF에 노출된 *Chlamydomonas* sp.의 DHQS-like와 NRPS-like 유전자의 발현은 노출 1시간에 각각 1.46 배 및 1.19 배 증가하였다. 이러한 결과는 DHQS-like와 NRPS-like 유전자가 *Chlamydomonas* sp.의 MAAs 생합성을 진단할 수 있는 좋은 바이오마커 후보가 될 수 있음을 의미한다.

**Abstract** Mycosporine-like amino acids (MAAs) are UV-absorbing substances, and diverse marine organisms have the evolved the capacity to diminished the direct and indirect damaging effects of environmental ultraviolet radiation by synthesis and accumulation of MAAs. In this study, we manufactured a radiofrequency (RF) generation device and applied to microalgal culture. 0.35±0.05 mHz of RF was supplied to culture vessel for *Chlamydomonas* sp. and samples were harvested at the designated time intervals (1, 0.5, 1 and 2 hr). MAAs biosynthetic genes, dehydroquinase synthase homolog (DHQS-like) and nonribosomal peptide synthetase homolog (NRPS-like), were cloned from *Chlamydomonas* sp. and their gene expressions under the RF exposure were analyzed using qRT-PCR. DHQS-like and NRPS-like gene expressions of *Chlamydomonas* sp. exposed to RF were increased 1.46 and 1.19 fold at 1 hr, respectively. These results means that DHQS-like and NRPS-like genes can be good biomarker candidates for diagnosis of MAAs biosynthesis in the *Chlamydomonas* sp.

**Key Words** : *Chlamydomonas* sp., DHQS-like, MAAs, NRPS-like, Radiofrequency

본 논문은 해양수산부 연구과제(PM57270)로 수행되었음.

\*Corresponding Author : Taek-Kyun Lee (Korea Institute Ocean Science & Technology)

Tel: +82-55-639-8630 email: [tklee@kiost.ac](mailto:tklee@kiost.ac)

Received March 29, 2013

Revised July 11, 2013

Accepted August 7, 2013

## 1. 서론

성층권의 오존결핍으로 인하여 지구표면에 도달하는 자외선(ultraviolet radiation, UVR; 280-400 nm)의 양이 증가함에 따라, 해양생태계에 대한 자외선의 영향에 대한 관심이 증가하고 있다[1]. 모든 광영양생물(phototrophs)과 같이 미세조류는 잠재적으로 광합성 활성방사선(photosynthetic active radiation, PAR; 400-700 nm)과 UVR에 노출되고, 이에 따라 UVR의 악영향을 감소하기 위한 다양한 회피전략을 발달시켜 왔다[2]. 이러한 전략들 중에는 photoreactivation, nucleotide excision repair, base excision repair, mismatch repair, recombinational repair 등과 같은 UV에 의한 DNA 손상 보수[3], 포자 발아 및 생식[4], 카로티노이드, 해독효소 및 항산화제 축적[5] 뿐만 아니라 scytonemin 및 mycosporine-like amino acids (MAAs) 같은 UV 흡수 및 차단화합물의 합성[6] 등이 있다.

MAAs는 자외선(UV)을 흡수하는 물질이며[7], 남조류, 균류, 미세조류 및 해조류에서 합성된다[8,9]. MAAs는 cyclohexenone과 cyclohexenimine chromophore가 아미노산의 질소치환기 또는 imino 알킬기와 결합되어 있는 구조이며[10], 최대흡수파장은 310-360 nm이다[11]. MAAs는 생물의 UV에 대한 광보호[8,9], 삼투압 조절[12] 및 산화적 스트레스에 대한 방어[13] 등 많은 생물학적 과정에 참여한다. 또한 *in vivo*에서 UV에 의해 유도되는 피부손상을 막는 기능[14]은 피부관리와 화장품 소재로 사용된다[15].

MAAs의 존재, 분포 및 생물학은 집중적인 연구의 대상이 되어 왔지만, MAAs의 생합성에 대한 분자생물학적 및 유전적 연구의 부족으로 정확한 생화학적 기작은 아직까지 완전히 이해되지 않고 있다[15]. 균류와 남조류에서의 MAAs 생합성 과정은 공통적으로 shikimate 과정을 거치게 되는데, 이러한 결과는 MAAs 생합성이 원핵생물과 진핵생물에서 거의 유사하거나 동일하다는 것을 의미한다[16]. 특히 남조류에서의 MAAs 생합성은 sedoheptulose 7-phosphate, 4-deoxygadusol을 거쳐 mycosporine glycine이 형성되고, mycosporine glycine은 shinorine과 poryphyra의 전구체가 되는 과정을 거치게 된다[15]. 이 과정에서 dehydroquinase synthase homolog (DHQS-like)와 O-methyltransferase (O-MT), adenosine triphosphate grasp superfamily (ATP-grasp) 및 nonribosomal peptide synthetase homolog (NRPS-like) 유전자가 관여한다.

Radiofrequency(RF)는 3 kHz-300 GHz까지 범위에 있는 전자기파이다. 최근 RF의 사용이 급증하고, RF를 방

출하는 기기가 보편화됨에 따라 RF의 생체악영향에 관련된 연구가 증가하고 있다. 특히 RF의 생물학적 연구는 세포증식[17], 효소활성[18,19], 유전자 발현[20], 세포막 투과성 및 이온 항상성[21,22] 뿐만 아니라 산화적 스트레스[23] 및 heat-shock 반응[24] 등이 보고되고 있다. 대부분의 연구는 동물세포에 대한 RF의 영향에 관한 연구이며, 식물에 대한 RF 영향에 관한 연구는 매우 드물다[25,26]. 특히 미세조류에 대한 RF 처리에 의한 영향 연구는 아직까지 보고된 바 없다.

본 연구에서는 미세조류 배양에 적합한 RF 발생장치를 디자인하고 *Chlamydomonas* sp.의 배양에 적용하였다. MAAs 생합성 관련 유전자(DHQS-like and NRPS-like)를 클로닝하고, RF에 노출된 *Chlamydomonas* sp.에서의 유전자 발현 분석을 통하여, MAAs 생합성을 진단할 수 있는 바이오마커로서의 활용가능성을 검토하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 세포 배양

*Chlamydomonas* sp.는 인천대학교 해양사업단에서 분양받아 배양을 하였다. 순수분리된 *Chlamydomonas* sp.는 250 mL 플라스크를 이용하여, 100 mL의 F<sub>2</sub> 배지(Table 1)에 접종하고, pH 7.0에서 20°C 배양기로 배양하였다. 광조건은 150 μM photon m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>의 cool-white fluorescence lamp를 이용하여, 14시간의 광주기와 10시간의 암주기를 daily cycle로 주었다.

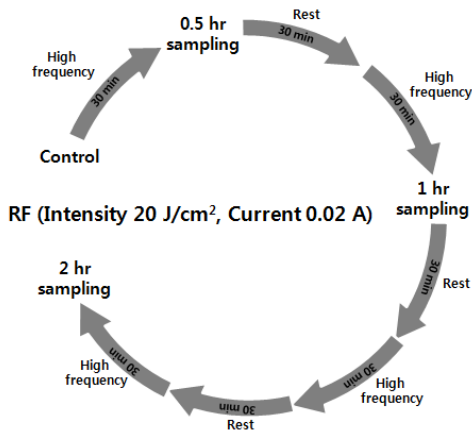
[Table 1] Composition of culture media (F<sub>2</sub> media).

f/2 medium	
Component	(per liter)
NaNO <sub>3</sub>	880 μm
NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O	36 μm
Vitamin B12	0.3 μg
Biotin	1.0 mg
Thiamine	0.1 μg
Metal mixed sol.	1.0 mg
DW	193 mL
Tris	0.55 g
Soil extract	5.0 mL
Sea water	800 mL
pH	7.4

### 2.2 RF 처리

상기 배양 조건을 이용하여 *Chlamydomonas* sp.를 2주간 순수배양하였다. 세포수는 10<sup>6</sup> cell/mL에 고정하고 5 L 배양기에서 배양하였으며, RF 발생장치를 이용하여

RF에 노출되도록 하였다. RF의 intensity는 20 J/cm<sup>2</sup>이고, 전류는 0.02 A로 조정하였다. RF 처리는 약 30분 간격으로 RF 처리와 휴식을 번갈아가며 수행을 하였다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 전체 RF 처리시간을 기준으로 하여 대조구 시료와 30분 처리 후의 시료, 1시간 처리 후의 시료 및 2시간 처리 후의 시료를 채취하였다. 각 시료당 30 mL를 획득하여 유전자 클로닝 및 발현분석 실험에 사용하였다[Fig. 1].



[Fig. 1] High frequency processing condition and sampling time of *Chlamydomonas* sp.

### 2.3 MAAs 생합성 유전자 클로닝

RF 처리를 통해 획득한 각 시간대별 미세조류 시료를 3,000×g로 5분 동안 4℃에서 원심분리하여 미세조류를 모았다. Homogenizer를 이용하여 미세조류 세포를 파쇄한 후, 1 mL의 Trizol reagent(Molecular Research Center Inc.)를 첨가하여 total RNA를 추출하였다. Reverse transcription system (Promega Co. USA)을 사용하여 10 μg의 total RNA로부터 cDNA를 합성하였다. House-keeping 유전자로 tublin 유전자를 사용하였으며, MAAs 생합성 유전자로 DHQS-like와 NRPS-like 유전자를 선택하였다. 각 유전자의 specific primers는 *Chlamydomonas* sp.의 transcriptomes로부터 얻어진 full-length cDNAs를 기초로 하여 디자인되었다. 실험에 사용된 프라이머는 표 2에 표시하였다. PCR products는 1% agarose gel 상에서 전기영동하였으며, 밴드를 절단하고, agarose gel DNA fragment recovery kit (Promega Co. USA)를 사용하여 정제하였다. PCR fragments는 pGEMT easy vector에 클로닝하고, 염기서열을 분석하였다.

[Table 2] Primer sequences for cloning of tublin, DHQS-like and NRPS-like genes

Gene	primer sequence (5'-3')
Tublin	Forward: GCGTGTGCATGATGTATCGTG
	Reverse: ATCCGGYAGGGACCAATCAAC
DHQS-like	Forward: TGGTCGAGGGATAGACCAAC
	Reverse: CACACTTGGAGTCCCACCTT
NRPS-like	Forward: GATGGTGGGGAATTTGATTG
	Reverse: CCCTGGTAGGCGTTTGTTTA

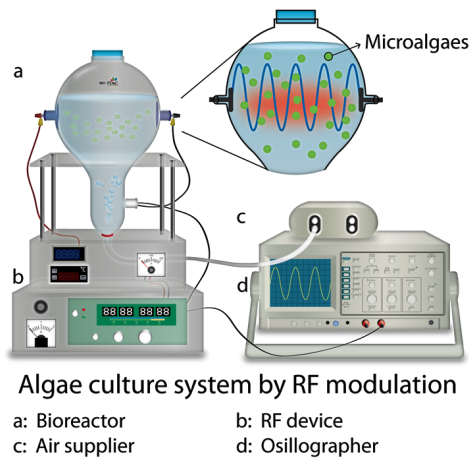
### 2.4 Quantitative real-time PCR

Real-time PCR은 위에 기술된 cDNA template를 사용하여 수행하였다. qRT-PCR에 적용된 프라이머는 유전자 클로닝을 위한 디자인된 프라이머(Table 2)를 사용하였다. House-keeping 유전자인 tublin 유전자를 internal control로 사용하였다. Real-time PCR은 Rotor-Gene 3000 (Corbett Research, Sydney, Australia)을 사용하여 수행하였으며, delta delta CT method에 의해 유전자 발현양의 차이를 분석하였다. PCR 증폭 반응은 total 20 μL로 10X rection buffer 2 μL, 2.5 mM dNTPs 2 μL, Taq DNA polymerase 0.5 μL, cDNA 5 μL, SYBR 1 μL를 혼합하여 반응을 수행하였다. 반응 조건은 94℃에서 20초, 55℃에서 20초 그리고 72℃에서 15초씩 각각 40 사이클을 실시하였다. 각 실험에 대하여 평균±SD를 계산하였으며, One-way ANOVA를 통해 결과의 유의성을 분석하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 RF 발생장치 제작

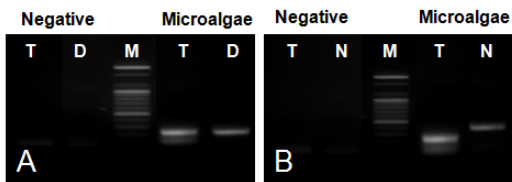
RF 파형 처리용 유리생물반응기(5 L)를 RF device의 printed circuit board (PCB)에 배치하였고, RF device는 out put power가 20-40 W 정도가 발생할 수 있도록 조정하였다. Internal power supply circuit, oscillator circuit, amplifier, resonator circuit, power modulator, heat diffuser 등을 적절히 배치하여 미세조류 배양에 적용하였다[Fig. 2].



[Fig. 2] Fabrication of radiofrequency generating modulation.

### 3.2 MAAs 생합성 유전자 클로닝

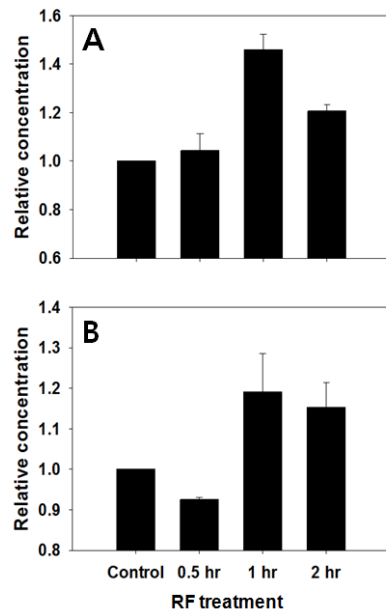
MAAs 생합성 과정에 참여하는 유전자인 DHQS-like와 NRPS-like 유전자를 클로닝하였다. 디자인된 primers를 사용하여 RT-PCR을 수행한 결과 negative control에서는 검출이 되지 않고, *Chlamydomonas* sp.에서만 검출되는 유전자 밴드를 전기영동 상에서 확인하였다[Fig. 3]. DHQS는 176 bp size에서 유전자를 증폭되었으며, NRPS는 192 bp의 유전자를 얻었다.



[Fig. 3] Electrophoresis of RT-PCR products for DHQS-like (A) and NRPS-like genes. M, 100 bp ladder; T, tublin; D, DHQS-like; N, NRPS-like.

### 3.2 MAAs 생합성 유전자 발현

RF 처리 시간에 대한 DHQS-like 및 NRPS-like 유전자의 발현변화를 분석하기 위하여, 0.35±0.05 MHz의 RF를 30분처리 후 30분 휴식의 cycle로 처리하였고, 0, 0.5, 1 및 2 hr에 시료를 채취하여 qRT-PCR을 수행하였다. 0 hr에서의 유전자 발현을 1로 설정하였으며, 각 시간별 시료의 발현정도를 상대적 값으로 표시하였다. 연구결과 두 유전자 모두 RF 처리 후 1 시간에 발현량이 최고로 증가하였다. DHQS-like 유전자는 control에 비해 약 46% 증가하였으며, NRPS-like 유전자는 약 19% 발현이 증가하였다[Fig. 4].



[Fig. 4] mRNA levels of DHQS-like (A) and NRPS-like (B) genes in the *Chlamydomonas* sp. exposed to radiofrequency.

## 4. 결론

바이오마커는 인위적인 환경요인에 의해 유도되는 생화학, 분자생물학 또는 생리적 반응을 특이적으로 반영하는 지표로 정의될 수 있다. 바이오마커는 물리·화학적 영향에 대한 특이적이고, 민감하고 분명한 반응을 나타내며, 반응이 짧은 시간에 나타나게 되므로 조기경보자(early warning system)로써 활용가능하다[27]. 특히 바이오마커는 specific한 외부환경 변화에 반응하는 특징을 가지고 있기 때문에 세포 및 개체의 특이적인 반응을 평가하는데 매우 편리한 방법을 제공한다[28]. 본 연구에서는 MAAs의 일종인 shinorine 생합성 과정에 참여하는 DHQS-like 및 NRPS-like 유전자를 *Chlamydomonas* sp.로부터 클로닝하고[Fig. 3], 고주파 처리에 의한 유전자 발현을 분석하였다[Fig. 4]. qRT-PCR을 사용하여 유전자 발현을 분석한 결과 DHQS-like와 NRPS-like 유전자가 1 시간 RF에 노출된 시료의 경우 RF 처리하지 않은 대조구에 비해 1.46배 및 1.19배 증가하였다. 이러한 결과는 DHQS-like와 NRPS-like 유전자가 미세조류에서 MAAs 합성을 진단할 수 있는 바이오마커로써 활용 가능성을 보여준다.

## References

- [1] D-P. Häder, R. C. Worrest, H. D. Kumar and R. C. Smith. "Effects on aquatic ecosystems". J. Photochem. Photobiol. B: Biol. 46, 53-68, 1998.
- [2] S. P. Singh, M. Klisch, R. P. Sinha and D-P. Häder. "Genome mining of mycosporine-like amino acid (MAA) synthesizing and non synthesizing cyanobacteria: a bioinformatics study". Genomics, 95, 120-128, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ygeno.2009.10.002>.
- [3] S. Kumari, R. P. Rastogi, K. L. Singh, S. P. Singh and R.P. Sinha. "DNA damage: detection strategies", EXCLI J. 7, 44-62, 2008.
- [4] T. Han, J-A. Kong, Y-S. Han, S-H. Kang and D-P. Häder. "UV-A/blue light-induced reactivation of spore germination in UV-B irradiated *Ulva pertusa* (Chlorophyta)". J. Phycol. 40, 315-322, 2004. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1529-8817.2004.03069.x>
- [5] E. M. Middleton and A. H. Teramura. "The role of flavonol glycosides and carotenoids in protecting soybean from ultraviolet-B damage". Plant Physiol. 103, 741-752, 1993.
- [6] S. P. Singh, S. Kumari, R. P. Rastogi, K. L. Singh and R. P. Sinha. "Mycosporine-like amino acids (MAAs): chemical structure, biosynthesis and significance as UV-absorbing/screening compounds". Ind. J. Exp. Biol. 46, 7-17, 2008.
- [7] C. S. Cockell and J. Knowland. "Ultraviolet radiation screening compounds". Biol. Rev. Camb. Philos. Soc. 74, 311-345, 1999. DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/S0006323199005356>
- [8] J. M. Shick, W. C. Dunlap. "Mycosporine-like amino acids and related gadusols: Biosynthesis, Accumulation, and UV-Protective Functions in Aquatic Organisms". Annu. Rev. Physiol. 64, 223-262, 2002. DOI: <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.physiol.64.081501.155802>
- [9] A. Oren and N. Gunde-Cimerman. "Mycosporines and mycosporine-like amino acids: UV protectants or multipurpose secondary metabolites?". FEMS Microbiol. Lett. 269, 1-10, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1574-6968.2007.00650.x>
- [10] D. Karentz, E. S. McEuen, M. C. Land and W. C. Dunlap. "Survey of mycosporine-like amino acid compounds in Antarctic marine organism: potential protection from ultraviolet exposure". Mar Biol 108, 157-166, 1991. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/BF01313484>
- [11] H. Nakamura, J. Kobayashi and Y. Hirata. "Separation of mycosporine like amino acids in marine organisms using reversed-phase high performance liquid chromatography". J. Chromatogr. 250, 113-118, 1982.
- [12] A. Oren. "Mycosporine-like amino acids as osmotic solutes in a community of halophilic cyanobacteria". Geomicrobiol. J. 14, 231-240, 1997. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/01490459709378046>
- [13] I. Yakovleva, R. Bhagooli, A. Takemura and M. Hidaka. "Differential susceptibility to oxidative stress of two scleractinian corals: antioxidant functioning of mycosporine-glycine". Comp. Biochem. Physiol. B 139, 721-730, 2004. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cbpc.2004.08.016>
- [14] F. de la Coba, J. Aguilera, F. L. Figueroa, M. V. de Gálvez and E. Herrera. "Antioxidant activity of mycosporine-like amino acids isolated from three red macroalgae and one marine lichen". J. Appl. Phycol. 21, 161-169, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10811-008-9345-1>
- [15] E. P. Balskus and C. T. Walsh. "The genetic and molecular basis for sunscreen biosynthesis in cyanobacteria". Science. 329, 1653-1656, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1126/science.1193637>
- [16] J. I. Carreto and M. O. Carignan. "Mycosporine-like amino acids: relevant secondary metabolites. Chemical and ecological aspects. Mar. Drugs. 9, 387-446, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/md9030387>
- [17] S. Velizarov, P. Raskmark and S. Kwee. "The effects of radiofrequency fields on cell proliferation are non-thermal". Bioelectrochem. Bioenerg. 48, 177-80, 1999. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0302-4598\(98\)00238-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0302-4598(98)00238-4),
- [18] R. Paulraj and J. Behari. "The effect of low level continuous 2.45 GHz waves on enzymes of developing rat brain". Electro. Magnetobiol. 21, 221-231, 2002. DOI: <http://dx.doi.org/10.1081/JBC-120015993>
- [19] M. Barteri, A. Pala and S. Rotella. "Structural and kinetic effects of mobile phonemicrowaves on acetylcholinesterase activity". BiophysChemist. 113, 245-253, 2004. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bpc.2004.09.010>
- [20] S. Lee, D. Johnson, K. Dunbar, H. Dong, X. Ge and Y. C. Kim. "2.45 GHz radiofrequency fields alter gene expression in cultured human cells". FEBS Lett. 579, 4829-4836, 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.febslet.2005.07.063>,
- [21] F. Apollonio, G. D'Inzeo and L. Tarricone. "Modelling of neuronal cells exposed to RF fields from mobile

- telecommunication equipment". *Bioelectrochem. Bioenerg.* 47, 199-205, 1998.  
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0302-4598\(98\)00189-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0302-4598(98)00189-5),
- [22] A. N. Goltsov. "Electromagnetic-field-induced oscillations of the lipid domain structures in the mixed membranes". *Bioelectrochem. Bioenerg.* 48, 311-316, 1999.  
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0302-4598\(99\)00040-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0302-4598(99)00040-9),
- [233] M. Zmyslony, P. Politanski, E. Rajkowska, W. Szymczak and J. Jajte, "Acute exposure to 930 MHz CW electromagnetic radiation in vitro affects reactive oxygen species level in rat lymphocytes treated by iron ions". *Bioelectromagnetics.* 25, 324-328, 2004.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/bem.10191>
- [24] S. Kwee, P. Raskmark and S. Velizarov. "Changes in cellular proteins due to environmental non-ionizing radiation. I. Heat-shock proteins". *Electro- Magnetobiol.* 20, 141-152, 2001.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1081/JBC-100104139>
- [25] D. M. Leme and M. A. Marin-Morales. "Chromosome aberration and micronucleus frequencies in *Allium cepa* cells exposed to petroleum polluted water-a case study". *Mutat. Res.* 650, 80-86, 2008.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.mrgentox.2007.10.006>,
- [26] M. Tkalec, K. Malaric and B. Pevalek-Kozlina. "Exposure to radiofrequency radiation induces oxidative stress in duckweed *Lemna minor* L.". *Sci. Total Environ.* 388, 78-89, 2007.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.07.052>
- [27] J. H. Jung, T. K. Ryu and T-K. Lee. "Application on multi-biomarker assessment in environmental health status monitoring of coastal system". *Ocean Polar Resear.* 30(1), 109-117, 2008.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.4217/OPR.2008.30.1.109>
- [28] T. K. Ryu, G. Lee, Y. Rhee, H-S. Park, M. Chang, S. Lee, J. Lee, T-K. Lee. "Identification of nickel response genes in abnormal early developments of sea urchin by differential display polymerase chain reaction". *Ecotoxicol Environ Safe* 84, 18-24, 2012.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2012.06.018>

**황 진 익(Jinik Hwang)**

[정회원]



- 2008년 2월 : 신라대학교 생물학과 (이학학사)
- 2007년 9월 ~ 2011년 2월 : 한국해양연구원 인턴연구원
- 2011년 3월 ~ 현재 : 한국과학기술연합대학원 대학교 석·박사 통합과정 재학

<관심분야>

해양환경독성학, 해양분자생물학

**모 상 현(Sang Hyun Moh)**

[정회원]



- 2003년 8월 : 광주과학기술원 생명과학과 (이학석사)
- 2013년 2월 : 성균관대학교 나노과학기술협동학부 (이학박사)
- 2005년 11월 ~ 현재 : (주)바이오에프디엔씨 대표이사

<관심분야>

생명과학, 나노과학

**장 만(Man Chang)**

[정회원]



- 1985년 8월 : 서울대학교대학원 해양학과 (이학석사)
- 1990년 8월 : 서울대학교대학원 해양학과 (이학박사)
- 1992년 8월 : State Univ. of New York 연수연구원
- 2008년 1월 ~ 2009년 12월 : 한국 환경생물학회 회장
- 1995년 9월 ~ 현재 : 해양과학기술원 책임연구원

<관심분야>

해양미세조류 생리·생태학, 해양 생태학



**이 건 섭(Gunsup Lee)**

[정회원]



- 2003년 2월 : 성균관대학교 생명공학과 (이학석사)
- 2010년 2월 : 성균관대학교 생명공학과 (이학박사)
- 2011년 1월 ~ 현재 : 한국 해양연구원 연수연구원

<관심분야>  
분자생물학, 해양 독성학

**이 택 건(Taek-Kyun Lee)**

[정회원]



- 1991년 2월 : 성균관대학교 생물학 (이학석사)
- 1998년 2월 : 성균관대학교 식물분자생리학 (이학박사)
- 1998년 9월 ~ 2000년 8월 : 한국해양연구원 연수연구원
- 2000년 9월 ~ 현재 : 한국해양과학기술원 책임연구원

<관심분야>  
환경분자생리학, 해양환경독성학

**이 주 연(Juyun Lee)**

[정회원]

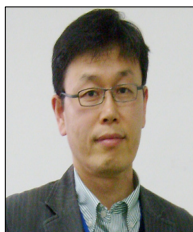


- 2005년 2월 : 한양대학교 환경과학과 (이학석사)
- 2011년 8월 : 한양대학교 생명과학과 (이학박사)
- 2011년 8월 ~ 현재 : 한국해양과학기술원 연수연구원

<관심분야>  
해양 생태학, 식물플랑크톤 생리·생태학

**김 동 균(Donggiun Kim)**

[정회원]



- 1989년 2월 : 성균관대학교 대학원 생물학과 (이학석사)
- 1999년 3월 : 미국오하이오대학교 대학원 생물학과 (식물학박사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 신라대학교 생물과학과 교수

<관심분야>  
식물학, 생화학, 분자생물학, 생리학