

적조생물 *Karenia mikimotoi* 가 북방전복 *Haliotis discus hannai* 에 미치는 영향 평가-II

이상준, 한지도, 전미애, 임창용¹, 조규태

국립수산과학원 남해수산연구소 양식산업과, ¹전라남도 해양수산과학원

Damage potential of *Karenia mikimotoi* to abalones *Haliotis discus hannai*-II

Sang-Jun Lee, Jido Han, Mi-Ae Jeon, Chang-Yong Im¹ and Qtae Jo

Aquaculture Industry Research Division, South Sea Fisheries Research Institute, NIFS, Jeonnam 59780, Korea
¹Jeollanam-do Institute of Oceans and Fisheries Science, Jeonnam 59782, Korea

ABSTRACT

Our previous findings revealing that *Karenia mikimotoi* toxicity might not be potent enough to cause abalone *Haliotis discus hannai* mass mortality necessitated further verification in more scientific ways. Focal points were on exposure extension and use of replication and harmless flagellate reference for valid comparison. The exposure lasted 2 days with a daily solution renewal. Harmless *Tetraselmis suecica* were additionally tested as a reference. All the tests were duplicated. The key methods otherwise mentioned followed our previous study (see Korean J. Malacol. 35(2): 87-92). Results were clear-cut, harmless or harmful. *K. mikimotoi* at 2×10^4 cells ml⁻¹ together with the two references, seawater and *T. suecica* at 10×10^4 cells ml⁻¹, were harmless all the way throughout the exposure, while a reference, *Cochlodinium polykrikoides* at 5×10^3 cells ml⁻¹, was markedly harmful. *C. polykrikoides* damage was statistically significant from 12 hours after exposure ($P < 0.05$). These data are highly suggestive of lower damage potential of *K. mikimotoi* to the abalone even though something uncertain and thus needing verification are still existing.

Key Words: *Karenia mikimotoi*, *Cochlodinium polykrikoides*, Damage comparison, Temperature, *Haliotis discus hannai*

서론

Karenia mikimotoi 는 남반부에서부터 북반부에까지 전 세계적으로 적조를 유발하는 유해종으로 알려져 있다 (Brand *et al.*, 2012). *K. mikimotoi*가 유해 적조생물로 취급된 배경에는 오랫동안 특히 일본에서 적조발생과 더불어 수산생물 피해가 목격되어 왔고, 이후 발생지역이 점차 확대되고 그에 따

라 다양한 종의 해양생물 폐사가 부수되어 왔기 때문이다 (Barnes *et al.*, 2015). 특이한 점은 *K. mikimotoi* 적조가 발생했을 때, 발생해역에 서식하는 생물 중 전복이 대량폐사하는 사례가 빈번히 목격되어, 전복류에 특별히 피해를 준다고 인식되어왔다 (Matsuyama *et al.*, 1998). 이러한 보고에도 불구하고 *K. mikimotoi* 적조가 수반하는 수산생물 피해기작에 대해서는 명확치 않은 점이 있다. 즉, *K. mikimotoi*는 해양생물에 피해를 줄 수 있는 다양한 물질인 cytotoxic polyethers, ROS, saturated fatty acids, polysaccharides 등이 있지만, 이들이 갖는 독성이 해양생물을 대량폐사시킬 수 있을 정도인지에 대해서는 의문이 제기되고 있기 때문이다.

목격을 통한 *K. mikimotoi*가 전복에 특이하게 영향을 미칠 수 있다는 주장은 과학적 근거를 필요로 한다. 전복의 식성과 대사생리를 고려할 때, *K. mikimotoi*가 전복에 특이하게 영향을 미칠 가능성이 낮기 때문이다. 유생과 변태초기의 전복을 대상으로 한 *K. mikimotoi* 유해성 실험은 일부 있으나

Received: September 10, 2019; Revised: September 26, 2019;
Accepted: September 28, 2019
Corresponding author: Qtae Jo
Tel: +82 (61) 690-8977, e-mail: qtjo@korea.kr
1225-3480/24740

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.

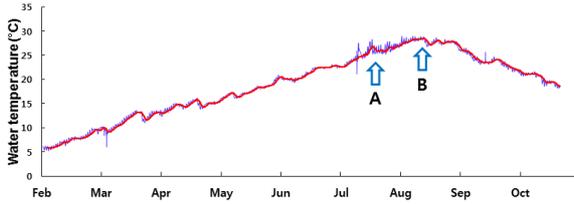


Fig. 1. Temperature profile in the land-based *Haliotis discus hannai* farm from which test abalones were sampled. Temperature-dependent test was performed when water temperature reached each temperature 26°C (A) and 28°C (B) on average along the profile.

(Botes *et al.*, 2003; Shi *et al.*, 2012), 이들 자료를 통한 전복 전복으로 확대해석하는 데는 한계가 있을 수 있다. 일반적으로 패류유생은 성체에 비해 환경변화에 민감하기 때문이다. 따라서 *K. mikimotoi*과 전복과의 특이적 관계를 이해하기 위해서는 성체를 대상으로 한 노출실험이 요구되고 있다.

저자들은 2017년 수온별 *K. mikimotoi* 노출실험을 장기간에 걸쳐 수행한 결과, *K. mikimotoi* 독성이 북방전복 성체에 미치는 영향은 아주 적을 것이라는 가능성을 1차 보고하였다 (Lee *et al.*, 2019). 그러나 저자들의 자료는 반복구가 없어 통계학적 취약점이 있었고, 무해 대조구가 설정되지 않아 자료해석에 한계가 있었으며, 또한 노출시간도 24시간에 한정하여 자료의 신뢰도가 부족하였다. 이 연구는 2018년 하계 고수온기에 수행된 것으로 2017년 연구의 부족한 부분을 보완하여 1차 제시된 *K. mikimotoi*과 북방전복과의 관계를 재검정하고자 함에 있다.

재료 및 방법

1. 실험생물

실험대상 유해 적조생물과 대조 유해 적조생물은 국립수산과학원 보유 *Karenia mikimotoi* (KM02 KSS) 와 *Cochlodinium polykrikoides* (NIFS CP001) 를 사용하였고, 대조 무해 flagellate는 전라남도해양수산과학원 여수지원에서 패류종묘생산용으로 사용되는 *Tetraselmis suecica*를 사용하였다. 전복은 육상양식장에서 표준양식지침에 의해 상업적으로 양성되고 있는 북방전복 *Haliotis discus hannai* 성패 (각장 7.3-8.2 cm, 평균 7.8 ± 0.3 cm; 전중 4.0-5.9 g, 평균 4.8 ± 0.5 g) 를 사용하였다.

2. 실험온도 및 실험시점 결정

실험온도는 2017년 실험결과를 참조하여 *K. mikimotoi*와 *C. polykrikoides*가 처음으로 유의한 폐사를 유발하는 수온, 즉 수온상승기의 26°C와 28°C에서 실시하였다. 각 온도 실험

시점을 결정하기 위해 상업용 어장에 동일한 조건의 수조 (raceway, 7 × 2 × 0.7 m) 에 온도자동측정기 (HOBO U26-001, ONSET, U.S.A) (Fig. 1) 을 설치하여 평균수온이 각각의 온도에 달하는 시점에 전복을 채취하여 각 온도 조건을 갖춘 실험실에서 실시하였다.

3. 적조생물 및 대조생물 농도

K. mikimotoi, *C. polykrikoides*, *T. suecica* 농도는 각각 20×10^3 , 5×10^3 , 10×10^4 cells ml⁻¹ 로 설정하였다. 해수 대조구 (0 cells ml⁻¹) 에는 여과해수에 동일량의 f/2 배지를 추가하였다. 각 종의 최고 농도 설정은 해당 배양체의 성장특성, 기존 노출농도, 생체량 등을 고려하였고, 생체량은 Lee *et al.* (2018) 의 방법에 의해 유기탄소 (TOC, total organic carbon) 기준으로 산정하였다.

4. 노출실험

별도로 관리중인 양식장의 수온이 해당 온도조건에 달하기 약 2-3일간 절식한 후 건강한 개체를 선정하여 해당 온도 조건을 갖춘 실험실로 옮겼다. 이후 각 농도의 적조 배양체가 수용된 수조 (수용량, 30 L) 에 노출시켰다. 노출 후 배양체의 파괴를 최소화할 수 있을 정도의 완만한 산소공급을 통해 전순환이 가능하게 하였다. 노출기간은 총 48시간으로 하였고, 노출 후 24시에 실험구 및 대조구의 배양체 교체하였다. 실험전복은 용기당 15 마리를 수용하였다. 노출기간 LD cycle은 자연조건을 따랐다. 모든 실험은 Duplication으로 진행하였다.

5. 통계

통계 패키지 (SPSS ver. 18) 에 의한 이원분산분석 (Two-way ANOVA) 을 통해 통계적 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

Fig. 2와 Fig. 3은 *Karenia mikimotoi*, *Cochlodinium polykrikoides*, *Tetraselmis suecica* 각 농도 20×10^3 , 5×10^3 , 10×10^4 cells ml⁻¹에서 및 해수 대조구에서의 수온 26, 28°C에서 북방전복의 생존율을 보여주고 있다. 결과적으로 대조 유해적조인 *C. polykrikoides*를 제외한 모든 실험구에서 북방전복은 48시간 노출동안 100% 생존하였다. 더욱이 노출시간이 48시간 (24시간 후 노출 액 교체) 이었음에도 100% 생존하였다는 사실은 *K. mikimotoi*가 북방전복에 피해를 미치지 않거나 피해를 미칠 가능성이 매우 낮다는 것을 의미한다.

저자들은 2017년 최초로 *K. mikimotoi* 배양체 (2×10^4 cells mL⁻¹) 를 대상으로 수온별 폐사양상을 확인하였다. 수온별 실험은 양식장 수온이 상승하는 시기에 23, 26, 28°C 시점

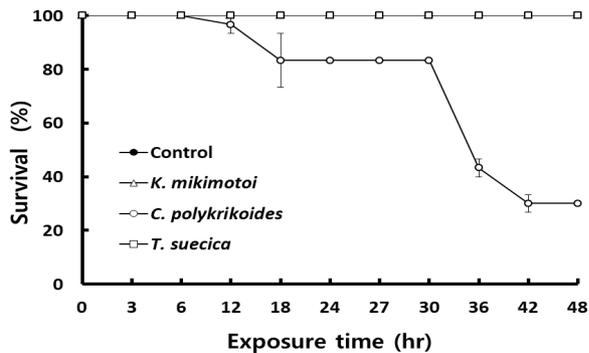


Fig. 2. Effect of harmful alga *Karenia mikimotoi* on the adult abalone *Haliotis discus hannai* at 26°C. The damage effect of the test alga *Karenia mikimotoi* (*K. mikimotoi*) solution at 2×10^4 cells mL⁻¹ was compared with those of 3 control solutions; harmful *Cochlodinium polykrioides* (*C. polykrioides*) at 5×10^3 cells mL⁻¹, harmless *Tetraselmis suecica* (*T. suecica*) at 1×10^5 cells mL⁻¹, and alga-free filtered seawater in the culture chamber (carrying solution, 30 L) for 48 hours. All the test solutions were replaced 24 hours after the exposure with newly prepared ones. Symbols: solid circle, alga-free filtered seawater; triangle, *K. mikimotoi*; vacant circle, *C. polykrioides*, and rectangle, *T. suecica*.

에 그리고 수온이 하강할 때 28, 26°C 시점에 24시간 노출한 결과, 수온이 상승할 때의 28°C 조건에서만 북방전복이 *K. mikimotoi* 농도별 폐사함을 확인하였다. 노출실험과 병행하여 전복시료 자체의 활력을 조사한 결과 수온 상승기의 28°C는 고수온에 의한 스트레스 (폐사율 기준) 를 가장 많이 받고 있어, *K. mikimotoi*의 영향이 크지 않을 가능성이 1차로 제시되었다. 그러나 2017년 실험은 통계학적 유의성, 노출기간, 무해 대조생물에서 한계가 있어 추가 실험이 요구된 바 있다 (Lee *et al.*, 2019). 이 실험은 2017년에 제시된 문제점을 보완한 실험이며, 따라서 Fig. 2와 Fig. 3은 2017년 실험결과를 보다 과학적으로 증명하고 있으며, *K. mikimotoi*의 북방전복에 유해성을 주장하는 보고 (Sawada and Wada, 1983; Horstman *et al.*, 1991; Matsuyama *et al.*, 1998)에 반대되는 결과를 보여주고 있다.

이 실험 결과는 *K. mikimotoi*의 무해성을 보이고 있지만, 이 실험을 통해 “*K. mikimotoi*는 북방전복에 무해하다”는 결론내리기 위해서는 몇 가지 확인사항이 남아있다. 실내 노출실험으로 얻어진 *K. mikimotoi* 영향력에 대한 결과는 실제 자연에서의 영향력을 그대로 대변한다고 볼 수 없기 때문이다. 첫 번째 확인이 필요한 사항은 실내 노출실험을 통해서도 *K. mikimotoi*가 함유하는 유해물질이 전복의 체내로 전달되는가의 문제이다. *K. mikimotoi*는 어패류의 혈액에 영향을 미치는 독성성분 (Jenkinson and Arzul, 2001; Neely and Cambell, 2006; Mooney *et al.*, 2007; Zou *et al.*, 2010),

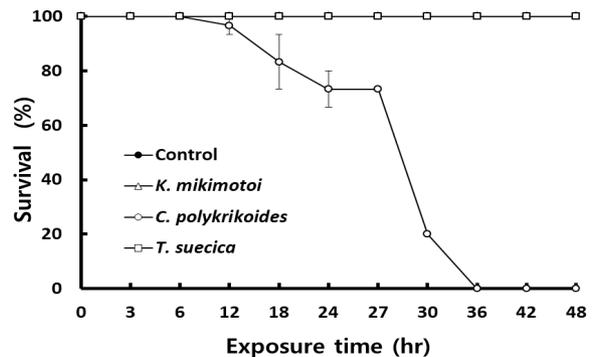


Fig. 3. Effect of harmful alga *Karenia mikimotoi* on the adult abalone *Haliotis discus hannai* at 28°C. Exposure, solution, symbol are as in Figure 2.

지방산 (Sellem *et al.*, 2000; Mooney *et al.*, 2007), polyether gymnocins (Satake *et al.*, 2002, 2005) 등을 합성한다. 실내조건에서 적조생물은 전복과 외부적인 접촉은 가능하나, 먹이의 형태로 체내로 전달될 수 있는 경로가 없기 때문이다. 전복류가 적조생물을 직접 먹이로 섭취할 수 있다고 보는 견해도 있지만 (Bravo *et al.*, 1996; Pitcher *et al.*, 2001), 일반적으로 적조생물을 섭취할 수 없다고 보는 것이 타당하다. 따라서 이 연구 결과 (Figs. 2and3)는 *K. mikimotoi*의 유해물질이 전복 체내에 미치는 영향이 배제된 결과임을 확인하여야 한다.

자연상태에서 적조 유해물질이 전복의 체내로 유입될 수 있는 몇 가지 경로가 제시되어 있다. 실제로 자연상태에서 *K. mikimotoi*는 외부에 노출된 아가미 외에 소화기관의 조직에 피해를 줄 수 있다는 보고가 있다 (Mitchell and Roger, 2007). 전복은 치설 (radula) 을 통해 해조류를 잡아 먹는 식성이다. 따라서 먹이섭식의 관점에서 볼 때 전복은 기본적으로 적조생물을 섭취하지 않는 것으로 봄이 타당하다. 그러나 Mcleod *et al.* (2017)은 *Gymnodinium catenatum* 적조가 발생한 해역에서 서식하는 호주 전복 *H. rubra*에서 *G. catenatum* 유래 PST congener인 doSTX가 장 (viscera) 에 다량 존재함을 확인하였다. 유입 경로는 명확치 않지만 적조가 발생한 해역에 서식하는 전복에서 적조생물이 함유하는 유해물질이 확인된 사례가 있다 (Gago-Martinez *et al.*, 1996; Bravo *et al.*, 1996, 1999; Pitcher *et al.*, 2001). 이것은 자연상태에서 적조가 발생할 경우 확인되지 않은 경로를 통해 적조생물이 전복 장내로 축적될 수 있고, 그 결과 적조가 합성하는 유해물질이 전복의 체내에서 추가로 영향을 미칠 수 있다는 것을 의미한다. 따라서 자연적조는 실내 노출보다 영향력이 더 클 가능성이 있다는 것을 의미한다. 그러나 *K. mikimotoi*가 가지는 유해물질은 유해성이 그다지 크지 못하고, 또한 해양생물에 일관된 독성을 갖지 않는다 (Brand *et al.*, 2012)는 점

에서 노출실험과 자연적조 간 차이가 크지 않을 가능성이 있을 것으로 보인다. 또한 *K. mikimotoi*가 해양생물에 미치는 영향은 접촉에 의한 피해가 영향력이 크다는 점 (Zou *et al.*, 2010) 은 이러한 가능성을 높인다고 볼 수 있다.

두 번째 확인사항은 자연체와 배양체의 독성 차이이다. 일반적으로 적조생물이 합성하는 유해물질, 특히 유해 독성물질 (phytotoxins) 은 성장환경에 따라 매우 다르며, 이러한 이유로 적조생물은 동일종 내에서도 strain별로 함량차이가 많다. 일례로 *K. brevis*의 경우 strain 별로 약 70배의 차이가 확인되고 있다 (Baden and Thomas, 1988; Piers *et al.*, 2008; Tester *et al.*, 2008; Hardison *et al.*, 2013). *K. mikimotoi* 역시 strain 별 차이가 확인되고 있는데, 자연체가 배양체 보다 유해하다는 보고가 있지만, 반대의 경우도 확인된다.

세 번째 확인사항은 활성산소 (ROS, reactive oxygen species) 이다. ROS는 호기성생물 (oxygen-metabolizing organism) 의 세포내 대사 결과물 (Oda *et al.*, 1995; McCord and Fridovich, 1966) 이나 필요한 성분섭취 (Garg *et al.*, 2007; Liu *et al.*, 2007) 에서부터 세포의 독성을 높이는 기능을 한다 (Oda *et al.*, 1995; Kim and Oda, 2010). 따라서 세포외 ROS 생산능력은 적조생물의 독성과 직접적인 관계가 있는 것으로 보고 있다 (Diaz and Plummer, 2018). Kim *et al.* (2019) 은 최근에 분리한 *K. mikimotoi*의 한 strain에서 외부자극 (extracellular stimuli) 에 의한 superoxide anion (O_2^-) 의 생성이 특별히 높아진다는 보고한 바 있으나, 일반적으로 *K. mikimotoi*의 활성산소 합성은 다른 적조생물 보다 낮은 편으로 (Yamasaki *et al.*, 2004; Gentien *et al.*, 2007), *K. mikimotoi*는 ROS의 관점에서도 유독할 가능성이 낮아 보인다. 특히 ROS에 의한 피해 역시 “allelopathy”의 관점에서 해석될 수 있고, 따라서 세포외 활성산소에 의한 접촉피해가 더욱 중요한 요소가 될 수 있다고 보고 있다 (Diaz and Plummer, 2018; Li *et al.* (2018). 따라서 최소한 *K. mikimotoi*의 경우 노출실험과 자연적조가 전복에 미치는 영향은 크지 않을 것으로 보인다.

마지막 확인사항은 *K. mikimotoi*의 실험 농도다. 일반적으로 자연에서 발생하는 *K. mikimotoi* 농도, 배양체 확보 농도 등을 고려하여 *K. mikimotoi* 노출 실험은 1×10^4 cells mL^{-1} 이내에서 수행되고 있다. 이 연구에서 노출조건은 전복의 환경변화 감수성이 높은 수온 28°C, *K. mikimotoi* 농도 2×10^4 cells mL^{-1} 였다는 점은 *K. mikimotoi*가 북방전복에 미치는 영향은 알려진 결과 보다 적을 것이라 2017년 실험결과 (Lee *et al.*, 2019)를 뒷받침한다.

요 약

적조생물 중 *Karenia mikimotoi* 는 특이하게 북방전복 *Haliotis discus hannai* 에 유해하다는 보고가 있어왔으나 아직 과학적인 피해기작은 제시되고 못하고 있다. 최근의 연구 결과는 *K. mikimotoi* 의 어패류에 대한 유해성에 전반적인 의문이 제기되고 있어 *K. mikimotoi* 와 *H. discus hannai* 관계를 재조명할 필요성이 있어왔다. 저자들은 2017년 연구에서 최초로 *K. mikimotoi*가 *H. discus hannai* 에 미치는 영향은 매우 적을 것이라 자료를 최초로 확보하였다. 그러나 2017년 연구는 반복수가 없어 통계학적 취약점이 있었고, 무해 대조구가 설정되지 않아 자료해석에 한계가 있었고, 또한 노출시간도 24시간에 한정하여 자료의 신뢰성에서 어느 정도 문제가 있었다. 이 연구에서는 2017년 연구의 3가지 취약점을 보완하여 보다 신뢰할 수 있는 자료 도출에 역점을 두었다. 그 결과, *K. mikimotoi*가 *H. discus hannai* 에 미치는 영향은 매우 적을 가능성이 있다고 추측된다.

사 사

이 연구는 2019년 국립수산물과학원 수산과학연구사업 (R2019039) 결과물의 일부이며, 이 과제를 수행하는데 있어서 적조생물인 *Karenia mikimotoi* 와 *Cochlodinium polykrikoides*가 대량으로 필요했고, 실험시점에 맞추어 두 종을 적절히 배양하여 공급하여 주신 박영태 박사님과 손문호 박사님 외 관련 연구원들에게 감사드립니다. 아울러 실험기간 대조생물인 *Tetraselmis suecica*를 제공한 전라남도해양수산과학원 여수지원에 감사를 드립니다.

REFERENCES

- Baden, D.G. and Tomas, C.R. (1988) Variations in major toxin composition for six clones of *Ptychodiscus brevis*. *Toxicon*, **26**(10): 961-963.
- Bravo, I., Cacho, E., Franco, J. M., Miguez, A., Reyero, M. I. and Martinez, A. (1996) Study of PSP toxicity in *Haliotis tuberculata* from the Galician coast. Harmful and Toxic Algal Blooms, 421-424.
- Bravo, I., Reyero, M. I., Cacho, E. and Franco, J. M. (1999) Paralytic shellfish poisoning in *Haliotis tuberculata* from the Galician coast: geographical distribution, toxicity by lengths and parts of the mollusc. *Aquatic toxicology*, **46**(2): 79-85.
- Botes, L., Smit, A.J. and Cook, P.A. (2003) The potential threat of algal blooms to abalone (*Haliotis midae*) mariculture industry situated around the South African coast. *Harmful Algae*, **2**: 247-256.
- Brand, L.E., Campbell, L. and Bresnan, E. (2012)

- Karenia: The biology and ecology of toxic genus. *Harmful Algae*, **14**: 156-178.
- Barnes, M.K., Tilstone, G.H., Smyth, T.J., Widdicombe, C.E., Gloël, J., Robinson, C., Kaiser, J. and Suggett, D.J. (2015) Drivers and effects of *Karenia mikimotoi* blooms in the western English Channel. *Progress in oceanography*, **137**: 456-469.
- Diaz, J.M. and Plummer, S. (2018) Production of extracellular reactive oxygen species by phytoplankton: past and future directions. *Journal of plankton research*, **40**(6): 655-666.
- Gago-Martinez, A., Comesana-Losada, M., Leao-Martins, J.M. and Rodriguez-Vazquez, J.A. (1996) Study on DSP and PSP toxic profile in *Haliotis tuberculata*. *Ciencia(Maracaibo)*, **4**(4): 335-342.
- Gentien, P., Lunven, M., Lazure, P., Youenou, A. and Crassous, M.P. (2007) Motility and autotoxicity in *Karenia mikimotoi* (Dinophyceae). *Philosophical Transactions of the Royal society B: Biological sciences*, **362**(1487): 1937-1946.
- Garg, S., Rose, A.L., Godrant, A. and Waite, T.D. (2007) Iron uptake by the ichthyotoxic *Chattonella marina* (Raphidophyceae): impact of superoxide generation 1. *Journal of phycology*, **43**(5): 978-991.
- Horstman, D.A., McGibbon, S., Pitcher, G.C., Calder, D., Hutchings, L. and Williams, P. (1991) Red tides in False Bay, 1959-1989, with particular reference to recent blooms of *Gymnodinium* sp. *Transactions of the Royal Society of South Africa*, **47**: 611-628.
- Hardison, D.R., Sunda, W.G., Shea, D. and Litaker, R.W. (2013) Increased toxicity of *Karenia brevis* during phosphate limited growth: ecological and evolutionary implications. *PLoS One*, **8**(3): e58545.
- Jenkinson, I., and Arzul, G. (2001) Mitigation by cysteine compounds of rheotoxicity, cytotoxicity and fish mortality caused by the dinoflagellates, *Gymnodinium mikimotoi* and *G. maguelonnense*. *In*: Harmful Algal Blooms 2000 (ed. by Hallegraeff, G.M., Blackburn, S.I., Bolch, C.J., Lewis, R.J.), pp. 461-464. Intergovernmental Oceanographic Commission, UNESCO, Paris,
- Kim, D. and Oda, T. (2010) Possible factors responsible for the fish-killing mechanisms of the red tide phytoplankton, *Chattonella marina* and *Cochlodinium polykrikoides*. *Coastal Environmental and Ecosystem Issues of the East China Sea*, 245-268.
- Kim, D, Wencheng L, Matsuyama Y, Cho K, Yamasaki Y, Takeshita S, Yamaguchi K, Oda T. (2019) Extremely high level of reactive oxygen species (ROS) production in a newly isolated strain of the dinoflagellate *Karenia mikimotoi*. *European Journal of Phycology*, DOI: 10.1080/09670262.2019.1632936.
- Liu, W., Au, D.W., Anderson, D.M., Lam, P.K. and Wu, R.S. (2007) Effects of nutrients, salinity, pH and light: dark cycle on the production of reactive oxygen species in the alga *Chattonella marina*. *Journal of experimental marine biology and ecology*, **346**(1-2): 76-86.
- Li, Y., Yu, J., Sun, T., Liu, C., Sun, Y. and Wang, Y. (2018) Using the marine rotifer *Brachionus plicatilis* as an endpoint to evaluate whether ROS-dependent hemolytic toxicity is involved in the allelopathy induced by *Karenia mikimotoi*. *Toxins*, **10**: 439.
- Lee, S.J., Jo, Q., Ok, H.N., Choi, H.S., Park, Y.T. and Son, M.H. (2018) Damage potential of *Karenia mikimotoi* to the farmed abalones saps *Haliotis discus hannai*. *The Korean Journal of Malacology*, **34**(2): 89-94.
- Lee, S.J., Jo, Q., Han, J., Jeon, M.A., Kim, B.S., Park, Y.T. and Son, M.H. (2019) Damage potential of *Karenia mikimotoi* to abalones *Haliotis discus hannai*. *The Korean Journal of Malacology*, **35**(2): 87-92.
- McCord, J.M. and Fridovich, I. (1969) Superoxide dismutase an enzymic function for erythrocyte (hemocuprein). *Journal of Biological chemistry*, **244**(22): 6049-6055.
- Matsuyama, Y., Koisumi, Y. and Uchida, T. (1998) Effect of harmful phytoplankton on the survival of the abalones, *Haliotis discus* and *Sulculus diversicolor*. *Bulletin of the Nansei National Fisheries Research Institute*, **31**: 19-24.
- Mooney, B.D., Nichols, P.D., De Salas, M.F. and Hallegraeff, G.M. (2007) Lipid, fatty acid, and sterol composition of eight species of kareniaceae (dinophyta): chemotaxonomy and putative lipid phycotoxins. *Journal of Phycology*, **43**(1): 101-111.
- Mitchell, S. and Rodger, H. (2007) Pathology of wild and cultured fish affected by a *Karenia mikimotoi* bloom in Ireland, 2005. *Bulletin-European Association of Fish Pathologists*, **27**(1): 39.
- McLeod, C., Dowsett, N., Hallegraeff, G., Harwood, D. T., Hay, B., Ibbott, S., Malhi, N., Murray, S., Smith, K., Tan, J. and Turnbull, A. (2017) Accumulation and depuration of paralytic shellfish toxins by Australian abalone *Haliotis rubra*: Conclusive association with *Gymnodinium catenatum* dinoflagellate blooms. *Food control*, **73**: 971-980.
- Neely, T. and Campbell, L. (2006) A modified assay to determine hemolytic toxin variability among *Karenia clones* isolated from the Gulf of Mexico. *Harmful Algae*, **5**: 592-598.
- Oda, T., Moritomi, J., Kawano, I., Hamaguchi, S., Ishimatsu, A. and Muramatsu, T. (1995) Catalase-and superoxide dismutase-induced morphological changes and growth inhibition in the red tide phytoplankton *Chattonella marina*. *Bioscience, biotechnology, and biochemistry*, **59**(11): 2044-2048.
- Pitcher, G.C., Franco, J.M., Doucette, G.J., Powell, C.L. and Mouton, A. (2001) Paralytic Shellfish Poisoning in the abalone *Haliotis midae* on the West Coast of South Africa. *Journal of shellfish research*, **20**(2): 895-904.
- Pierce, R.H., and Henry, M.S. (2008) Harmful algal toxins of the Florida red tide (*Karenia brevis*): natural chemical stressors in South Florida coastal ecosystems. *Ecotoxicology*, **17**(7): 623-631.
- Sawada, S. and Wada, Y. (1983) Several examination of

- a *Gymnodinium* sp. Type 65 red tide occurred in Uwa Sea on resistibility of fish and shellfish. Reports on the Assessments of Red Tide Prediction, Fishery Agency of Japan. p. 131-140 (in Japanese)
- Sellem, F., Pesando, D., Bodennec, G., El Abed, A. and Girard, J.P. (2000) Toxic effects of *Gymnodinium* cf. *mikimotoi* unsaturated fatty acids to gametes and embryos of the sea urchin *Paracentrotus lividus*. *Water Research*, **34**(2): 550-556.
- Satake, M., Shoji, M., Oshima, Y., Naoki, H., Fujita, T. and Yasumoto, T. (2002) Gymnocin-A, a cytotoxic polyether from the notorious red tide dinoflagellate, *Gymnodinium mikimotoi*. *Tetrahedron Letters*, **43**: 5829-5832.
- Satake, M., Tanaka, Y., Ishikura, Y., Naoki, H. and Yasumoto, T. (2005) Gymnocin-B with the largest contiguous polyether rings from the red tide dinoflagellate, *Karenia* (formerly *Gymnodinium*) *mikimotoi*. *Tetrahedron Letters*, **46**: 3537-3540.
- Shi, F., McNabb, P., Rhodes, L., Holland, P., Webb, S., Adamson, J., Immers, A., Gooneratne, R. and Holland, J. (2012) The toxic effects of three dinoflagellate species from the genus *Karenia* on invertebrate larvae and finfish. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, **46**: 149-165.
- Tester, P.A., Shea, D., Kibler, S.R., Varnam, S.M., Black, M.D. and Litaker, R.W. (2008) Relationships among water column toxins, cell abundance and chlorophyll concentrations during *Karenia brevis* blooms. *Continental Shelf Research*, **28**(1): 59-72.
- Yamasaki Y, Kim D, Matsuyama Y., Oda, T and Honjo, T. (2004) Production of superoxide anion and hydrogen peroxide by the red tide dinoflagellate *Karenia mikimotoi*, *Journal of Bioscience and Bioengineering*, **97**: 212-215.
- Zou, Y., Yamasaki, Y., Matsuyama, Y., Yamaguchi, K., Honjo, T. and Oda, T. (2010) Possible involvement of hemolytic activity in the contact-dependent lethal effects of the dinoflagellate *Karenia mikimotoi* on the rotifer *Brachionus plicatilis*. *Harmful Algae*, **9**(4): 367-373.