

통영 연안의 잠재독성 *Pseudo-nitzschia* 출현종

박종규^{1*} · 김응권¹ · 임월애²

¹군산대학교 해양학과

²국립수산과학원 남해연구소 양식환경연구센터

Potentially toxic *Pseudo-nitzschia* species in Tongyeong coastal waters, Korea

JONG-GYU PARK^{1*}, EUNG-KWON KIM¹ AND WEOL-AE LIM²

¹Department of oceanography, Kunsan National University, Kunsan 573-701, Korea

²Aquaculture Environment Institute, Tongyeong, Gyeongsangnamdo 650-943, Korea

Pseudo-nitzschia 속의 일부 종은 신경독 domoic acid(DA)를 생산하여 기억상실성 패독을 일으킨다. 이들의 잠재적인 독성 피해에도 불구하고 국내에서는 아직 출현종의 조성과 그 출현 시기가 명확하지 않다. 본 연구에서는 통영 연안해역에 출현하는 *Pseudo-nitzschia* 속의 종조성과 출현 시기를 알아보기 위하여 2008년 5월부터 11월까지 격주 간격으로 시료를 채집하여 광학현미경과 전자현미경으로 관찰하였다. 조사기간 동안 출현한 종은 *P. americana*, *P. brasiliiana*, *P. caciantha*, *P. calliantha*, *P. cuspidata*, *P. delicatissima*, *P. micropora*, *P. multiseries*, *P. multistriata*, *P. pseudodelicatissima*, *P. pungens*, *P. subfraudulenta*, *P. subpacifico*로 모두 13종이었다. 월별 출현종은 5월에 4종으로 가장 적었고, 그 이후 조금씩 증가하여 9월에 12종으로 최고에 이르렀으며, 9월 이후로 다시 감소하여 11월에는 5종만 출현하였다. 출현종 중 6종, *P. americana*, *P. brasiliiana*, *P. caciantha*, *P. calliantha*, *P. micropora*, *P. pseudodelicatissima*는 국내 연안에서 처음 보고하는 종이며, *P. calliantha*, *P. cuspidata*, *P. delicatissima*, *P. multiseries*, *P. multistriata*, *P. pungens* 6종은 문헌상 DA를 생산하는 것으로 알려진 잠재 독성종이다. 통영 연안에서 이들의 독성 여부는 확인하지 못하였다.

Several species of the genus *Pseudo-nitzschia* produce the neurotoxin domoic acid (DA) known to be responsible for amnesic shellfish poisoning. In spite of the potentially toxic effects on marine ecosystem, even the representative *Pseudo-nitzschia* species occurring in Korean coastal waters have not been clearly reported. Plankton samples from several outer coastal sites of Tongyeong were collected fortnightly from May to November 2008 and the presence of diatoms of the genus *Pseudo-nitzschia* was examined using light and scanning electron microscopy. Thirteen species were observed, including *P. americana*, *P. brasiliiana*, *P. caciantha*, *P. calliantha*, *P. cuspidata*, *P. delicatissima*, *P. micropora*, *P. multiseries*, *P. multistriata*, *P. pseudodelicatissima*, *P. pungens*, *P. subfraudulenta*, and *P. subpacifico*. The number of *Pseudo-nitzschia* species observed were only four in May, which was minimum during this survey, and then gradually increased attaining maximum, twelve, in September. After September it began to decrease again and got to five in November. Of these, *P. americana*, *P. brasiliiana*, *P. caciantha*, *P. calliantha*, *P. micropora*, and *P. pseudodelicatissima* are new records for the Korean coastal waters and *P. calliantha*, *P. cuspidata*, *P. delicatissima*, *P. multiseries*, *P. multistriata*, and *P. pungens* have been reported as DA producers around the world, but the potential toxicity of these species was not ascertained in Tongyeong area.

Keywords: Tongyeong, *Pseudo-nitzschia*, diatoms, domoic acid, phytoplankton

서론

해양에 서식하는 유독 생물은 해양 생태계에 심각한 영향을 미칠 수 있다. 규조 *Pseudo-nitzschia* 속의 일부 종은 domoic acid (DA)

라는 기억상실성 독물질을 생성하는데, DA는 먹이망을 통하여 축적되어 인간을 포함한 고등 척추동물에게 신경계 손상을 일으키거나 심할 경우 죽음에 이르게 한다(Todd, 1993). DA에 의한 최초의 공식적인 독중독 사고는 1987년 캐나다 Prince Edward 섬 동부 연안에서 발생하였다(Bates *et al.*, 1989). DA에 감염된 홍합을 섭취하여 주민 3명이 사망하고 100여명 이상이 신경계 이상을

*Corresponding author: rtjgpark@kunsan.ac.kr

호소한 사고였는데(Wright *et al.*, 1989), 규조 *Pseudo-nitzschia multiseries*가 원인생물이었다(Subba Rao *et al.*, 1988). 이 사건을 통해 독을 생산하는 규조류가 존재한다는 사실이 처음으로 학계에 보고되었고, 그 후 *Pseudo-nitzschia* 속에 대한 연구가 활기를 띠게 되었다.

최초의 독중독 사고 이후 DA를 생산하는 *Pseudo-nitzschia* 종이 추가적으로 보고되었고, DA 검출 해역도 크게 늘어났다(Bill *et al.*, 2005; Cerino *et al.*, 2005; Lundholm *et al.*, 1994, 1997; Martin *et al.*, 1990; Orsini *et al.*, 2002; Rhodes *et al.*, 1996, 1998; Smith *et al.*, 1991; Villac *et al.*, 1993). 최근에는 분자생물학적 접근 방법으로 종을 동정하는 연구가 활발해지면서 새로운 종도 계속 보고되고 있다(Lundholm and Moestrup, 2002; Priisholm *et al.*, 2002; Lundholm *et al.*, 2002, 2003, 2006; Amato and Montresor, 2008). 지금까지 학계에 보고된 *Pseudo-nitzschia* 속은 변종을 제외하면 모두 32종 정도이고(Amandoz *et al.*, 2007; Marchetti *et al.*, 2008), 그 중에서 11종이 DA를 생산하는 것으로 알려져 있다(Skov *et al.*, 1999; Frixell and Hasle, 2003; Moestrup and Lundholm, 2007). 국내에서는 이와 백(1995)이 진해만에서 분리한 *P. multiseries*에서 독성을 보고한 바 있다.

Pseudo-nitzschia 속과 같이 잠재 독성종을 다수 포함한 생물이 특정해역에 출현하면, 대상해역의 수산물 이용자를 보호하기 위하여 이들의 명확한 종명과 독성 여부를 신속하고 정확하게 판단하여야 한다(Scholin and Anderson, 1994). 하지만 *Pseudo-nitzschia* 는 각 종의 외부 형태가 매우 유사하여 광학현미경으로 종을 구별하는 것이 거의 불가능하다. 종 분류에 활용하는 분류 형질들이 대부분 전자현미경을 이용하지 않으면 확인할 수 없는 매우 미세한 구조이기 때문이다. 심지어 최근에는 분자생물학적 접근법이 많이 활용되면서 동일종으로 생각하였던 종조차도 다른 여러 종의 복합체라는 사실이 밝혀졌다(Lundholm *et al.*, 2003, 2006; Amato and Montresor, 2008). 전자현미경으로도 종 구분이 어려운 경우가 생긴 것이다. 이 경우에는 역으로 분자생물학 결과에 기초하여 전자현미경으로 미세한 형태 차이를 찾아 가는데, 일단 형태 차이를 확인하면 이는 종 구分的의 가장 뚜렷한 분류 형질이 된다.

국내에서 식물플랑크톤 분포에 대한 많은 연구가 수행되었음에도 불구하고 *Pseudo-nitzschia* 속의 종 단위 출현양상이나 시기별 분포 등에 대한 자료가 거의 없는 것은 모두 이런 분류의 어려움에 기인한다. 지금까지 문헌상으로 국내에 출현하는 것으로 알려진 *Pseudo-nitzschia* 속은 *P. cuspidata*, *P. delicatissima*, *P. multiseries*, *P. multistriata*, *P. pungens*, *P. seriata*, *P. subfraudulenta*, *P. subpacific*로 모두 8종이다(박 등, 1999; Cho *et al.*, 1999; 이와 백, 1995). 하지만 전자현미경을 이용한 일부 논문을 제외하면 대부분 광학현미경에 의존하여 동정하였기 때문에 자료의 신빙성을 보장하기 어렵다. *Pseudo-nitzschia* 속이 잠재적으로 독성 피해를 일으킬 수 있는 종이라는 점을 고려할 때 출현종의 조성 및 독성 종의 시기별 분포를 파악하는 것은 매우 시급한 일이 아닐 수 없다.

본 연구에서는 통영 해역에 출현하는 *Pseudo-nitzschia* 속의 정확한 종동정을 위해 전자현미경으로 세부 형태를 확인하였다. 시료 관찰은 현장시료와 배양시료를 모두 이용하였으며, 출현종의 미세한 형태 차이를 파악하기 위하여 가능한 한 많은 종을 배양하였다. 또한 2주 간격으로 시료를 채집하여 *Pseudo-nitzschia* 속

의 시기별 출현 양상과 잠재 독성 종의 분포 및 출현 시기도 파악하였다.

재료 및 방법

조사 해역 및 시료 채집

통영과 거제도, 사천 인근 연안 해역에 출현하는 *Pseudo-nitzschia* 속의 시기별 출현양상을 살펴보기 위하여 2008년 5월부터 11월까지 월 2회씩 모두 13회에 걸쳐 정기적인 현장조사를 수행하였다(Fig. 1, Table 1). 최대한 다양한 *Pseudo-nitzschia* 종을 분리, 배양하기 위하여 동기간 동안 비정기적인 채집도 병행하였다. 시료는 8개 정점에서 채집하였으며, 각 정점별로 표층 해수를 채수하여 1 L HDPE(High density polyethylene) 시료병에 옮겨 담았다. 채집 시료는 현장에서 즉시 루골 용액(Lugol's Solution)으로 최종농도 1%(10 mL L⁻¹)가 되도록 고정하였으며, 직사광에 노출되어 루골 용액이 광산화되는 것을 방지하기 위해 알루미늄 호일로 차광하여 실험실로 운반하였다. *Pseudo-nitzschia* 배양 중주를 확보하기 위한 시료는 현장에서 채집한 해수나, 20 µm 망목 net로 수직 예인한 농축 시료를 이용하였다. 현장 해수 시료와 net 농축 시료는 각각 1 L LDPE(Low density polyethylene) 시료병과 100 mL HDPE 시료병에 넣어 운반하였다.

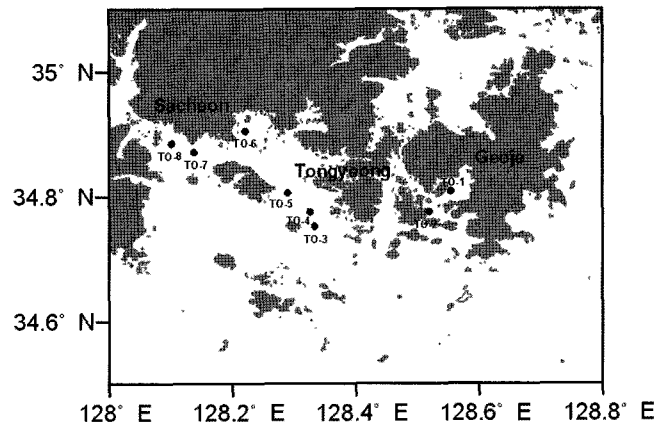


Fig. 1. A map showing the sampling station of Tongyeong coastal area.

Table 1. Sampling dates in Tongyeong coastal waters, 2008

Frequency	Sampling date
1st	7 May
2nd	22 May
3rd	11 June
4th	23 June
5th	15 July
6th	28 July
7th	4 Aug.
8th	26 Aug.
9th	11 Sep.
10th	17 Sep.
11th	12 Oct.
12th	28 Oct.
13th	5 Nov.

식물플랑크톤 농축 및 배양

현장 시료를 농축하기 위하여 시료병을 최소 48 시간 이상 평평한 곳에 정지하여 식물플랑크톤이 모두 시료병 바닥에 가라앉도록 하였다. 식물플랑크톤이 모두 침전하면 직경 5 mm 이하 사이펀으로 상등액을 제거하여 최종적으로 50 mL만 남겨 두었으며, 농축 시료는 100 mL HDPE 시료병에 보관하였다.

실험실로 운반한 *Pseudo-nitzschia* 배양용 시료는 대상 종의 분리가 끝날 때까지 배양실에 보관하였다. 종 분리는 도립현미경(Olympus CK40)을 이용하였으며, 분리한 종이 다른 종과 섞여 오염되지 않도록 f2 배지에서 2~3회 이상 세척하였다. 세척이 끝난 시료는 24-well tissue culture plate에 넣어 일차 배양하였다. 일차 배양에 성공한 시료는 다시 20 mL 유리시험관을 거쳐 최종적으로 250 mL 사각 PC 병에 유지하였다. 배양에 이용한 배지와 온도, 염분, 광도는 각각 f2 배지, 15±1 °C, 30 psu, 150 μmol m⁻² s⁻¹이었으며 광주기는 주지 않았다.

주사전자현미경 관찰

통영 해역에 출현하는 *Pseudo-nitzschia* 속의 정확한 종명을 확인하기 위하여 먼저 광학현미경으로 고정시료를 관찰하여 대략적인 조사 시기별 *Pseudo-nitzschia* 출현량과 출현종을 파악하였다. 그 중 시기별로 출현량이 많거나 다양한 종이 출현한 고정시료를 선정하여 전계방출형 주사전자현미경(FE-SEM; Field Emission Scanning Electron Microscope, HITACHI S-4800, Japan)으로 관찰하였다. FE-SEM 관찰을 위한 시료는 고정시료와 배양시료를 모두 사용하였으며, 전처리에는 Simonsen(1974)의 구조 세척법을 따랐다. 관찰에 사용할 시료 분취량은 *Pseudo-nitzschia*의 출현량에 따라 1-5 mL 내에서 적절하게 조절하였다. 분취시료의 염분을 제거하기 위해 중류수를 첨가한 후, 1500 rpm으로 15분간 원심분리하였다. 원심분리한 시료의 상등액을 제거한 후 남아있는 시료에 동량의 과망간산칼륨(KMnO₄)을 첨가한 뒤 24시간 동안 진탕하였다. 진탕한 시료에 동량의 염산(HCl)을 첨가한 뒤 시료의 색이 암갈색에서 황녹색으로 변할 때까지 가열하였다. 시료가 완전히 식으면 PC membrane filter (5μm pore size, Millipore, USA)로 15 mL 진공여과장치(Wheaton, USA)에서 여과하였으며, 여과가 끝날 무렵 중류수를 첨가하여 시료와 여과지에 남아 있는 산을 제거하였다. 중류수 세척이 모두 끝난 시료는 100% ethanol이 들어 있는 Petri dish에 넣고 밀봉 보관하였다. 밀봉 시료는 FE-SEM으로 관찰하기 직전에 개봉하여 공기 건조하였으며, 시료에 전도성을 주기 위해 Ion Sputter(HITACHI E-1045, Japan)로 백금(Pt) 코팅하였다. 코팅은 60초 동안 하였으며 전류는 15 mA를 주었다. FE-SEM 시료 관찰은 가속 전압 10 Kv에서 수행하였다.

결 과

***Pseudo-nitzschia* 출현종**

연구기간 동안 통영해역에서 관찰한 *Pseudo-nitzschia* 속은 *P. americana*, *P. brasiliiana*, *P. caciantha*, *P. calliantha*, *P. cuspidata*, *P. delicatissima*, *P. micropora*, *P. multiseriis*, *P. multistriata*, *P. pseudodelicatissima*, *P. pungens*, *P. subfraudulenta*, *P. subpacificica* 로 모두 13종이었다. 출현종 종류와 크기 범위 및 미세구조 특징

은 Table 2에 나타내었다. 출현종 중에서 문헌상으로 기억상실성 폐독인 DA를 생성하는 것으로 알려진 종은 *P. calliantha*, *P. cuspidata*, *P. delicatissima*, *P. multiseriis*, *P. multistriata*, *P. pungens* 6종으로 전체 출현종 수의 46%를 차지하였다. 특히, *P. americana*, *P. brasiliiana*, *P. caciantha*, *P. calliantha*, *P. micropora*, *P. pseudodelicatissima* 6종은 국내 연안에서 그 출현을 처음 보고하는 종이다.

***Pseudo-nitzschia* 출현종의 형태 특성**

FE-SEM으로 세포 윗면(개각면; valve view)을 관찰했을 때의 전체 형태와 미세구조를 Fig. 2-4에 제시하였다.

*P. pungens*는 세포의 규화 정도가 심하여 단단해 보이고 산으로 세척하지 않은 세포의 등줄안다리(fibulae)와 점무늬열(striae)도 광학현미경으로 볼 수 있다. 개각(valve)은 전체적으로 직선에 가까운 완만한 곡선이며 끝은 뾰족하다(Fig 2A). 등줄안다리와 점무늬열의 개수가 거의 동일하며, 점무늬열에 2줄의 다공(poroid)이 있다(Fig. 2B, Table 2). 개각 중간에 등줄안다리 2-3개 정도의 공간(central larger interspace)은 존재하지 않는다.

*P. multiseriis*는 *P. pungens*와 거의 유사한 외형을 하고 있다(Fig. 2C). 다만, 점무늬열(striae)에 있는 다공(poroid)이 3줄 이상이라는 점이 두 종의 특징적인 차이이다(Fig. 2D, Table 2).

*P. subfraudulenta*는 개각(valve) 중간 부분이 직선에 가깝고 좌우가 대칭이며 끝은 뾰족하다(Fig. 2E). 점무늬열(striae)에 2-3줄의 다공(poroid)이 있고, 개각 중간에 있는 긴 공간(central larger interspace)에 중앙볼록마디(central nodule)가 있다(Fig. 2F, Table 2). 다공은 크기가 크고 비교적 밀집 배열하여 점무늬열(striae)면 전체를 벌집 모양으로 가득 채운다.

*P. subpacificica*는 개각(valve) 양측이 대칭이 아니다. 등줄안다리(fibulae)가 있는 쪽은 개각 중간 부분이 직선이지만, 그 반대쪽은 전체적으로 완만한 곡선 모양이다(Fig. 2G). 점무늬열(striae)에 2

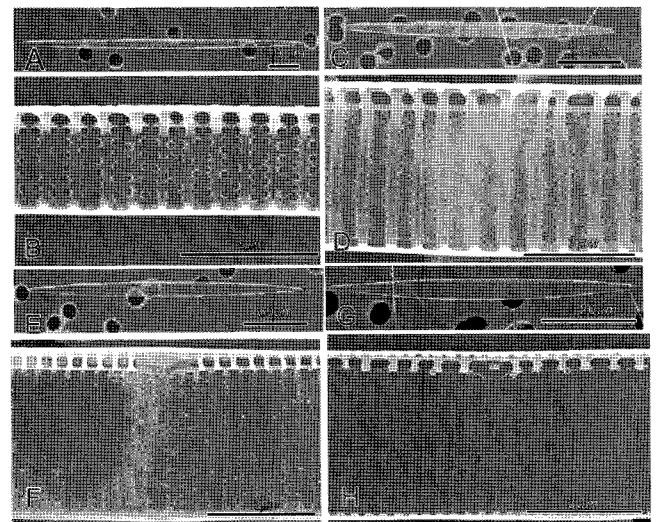


Fig. 2. Scanning electron micrographs of *Pseudo-nitzschia*, processed on Millipore filters. (A) *P. pungens*, whole valve. (B) *P. pungens* internal surface. (C) *P. multiseriis*, whole valve. (D) *P. multiseriis* internal surface. (E) *P. subfraudulenta*, whole valve. (F) *P. subfraudulenta* internal surface. (G) *P. subpacificica* whole valve. (H) *P. subpacificica* internal surface.

Table 2. Morphometric data of *Pseudo-nitzschia* species observed in Tongyeong coastal waters, 2008

Taxon	Shape	Length (μm)	Width (μm)	Fibulae/ 10 μm	Striae/ 10 μm	Poroids/ 1 μm	Rows of poroids/striae	Central interspace
<i>Pseudo-nitzschia americana</i>	linear-lanceolate	15~43	2.5~3.9	19~23	28~32	5~10	2~3	absent
<i>P. brasiliiana</i>	linear-lanceolate	29~36	2.6~3.1	23~25	23~25	8~9	2	absent
<i>P. caciantha</i>	lanceolate	63~96	2.3~2.9	15~18	32~34	5~6	1	present
<i>P. calliantha</i>	linear	51~98	1.5~2.0	17~20	30~35	4~5	1	present
<i>P. cuspidata</i>	lanceolate	45~90	1.8~2.5	13~22	33~39	4~6	1	present
<i>P. delicatissima</i>	lanceolate	43~72	1.1~2.3	20~26	36~40	6~11	2	present
<i>P. micropora</i>	linear-lanceolate	29~62	1.8~2.3	23~24	41~46	8~12	2	absent
<i>P. multiseriis</i>	lanceolate	80~86	4.2~4.8	12~13	12~13	5~6	3~4	absent
<i>P. multistriata</i>	lanceolate	49~56	3.1~3.3	24~25	35~36	5~6	2~3	absent
<i>P. pseudodelicatissima</i>	linear	56~67	1.4~1.8	18~20	44~45	6~7	1	present
<i>P. pungens</i>	lanceolate	91~112	3.1~3.5	11~12	10~11	5~6	2	absent
<i>P. subfraudulenta</i>	linear-lanceolate	44~65	5.4~5.8	18~19	23~24	5~6	2~3	present
<i>P. subpaciifica</i>	linear-lanceolate	40~78	4.3~4.7	14~17	17~31	8~10	2	present

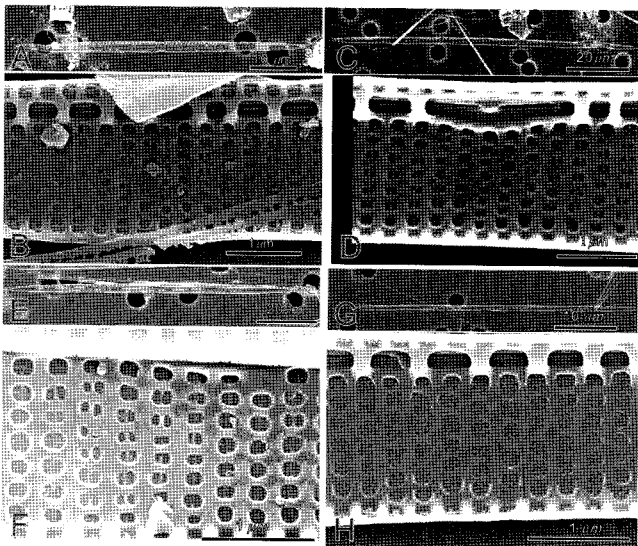


Fig. 3. Scanning electron micrographs of *Pseudo-nitzschia*, processed on Millipore filters. (A) *P. cuspidata*, whole valve. (B) *P. cuspidata* internal surface. (C) *P. pseudodelicatissima*, whole valve. (D) *P. pseudodelicatissima* internal surface. (E) *P. caciantha*, whole valve. (F) *P. caciantha* internal surface. (G) *P. calliantha* whole valve. (H) *P. calliantha* internal surface.

줄의 다공(poroid)이 있고, 세포 중간에 중앙볼록마디(central nodule)가 있다(Fig. 2H, Table 2). 다공은 크기가 작고 점무늬열의 양쪽 끝에 치우쳐 있다.

*P. cuspidata*는 valve 전체가 완만한 곡선이며 끝이 뾰족하다(Fig. 3A). 세포 중간에 중앙볼록마디(central nodule)가 있고, 점무늬열(striae)에는 다공(poroid)이 1줄만 있다(Fig. 3B, Table 2). 다공은 대부분 2개 부분(sector)으로 나누어져 있다.

*P. pseudodelicatissima*는 개각(valve) 전체가 직선에 가깝고 끝 부분에서 급격히 가늘어진다(Fig. 3C). 개각 양측이 서로 대칭이다. 세포 중간에 중앙볼록마디(central nodule)가 있고, 점무늬열(striae)에는 다공(poroid) 1줄만 있다(Fig. 3D, Table 2). 다공은 대부분 2개 부분(sector)으로 나뉜다. *P. cuspidata*와 비슷하지만 세포 전

체가 직선에 가까운 형태를 하고 있다는 것이 *P. cuspidata*와 구별되는 가장 큰 특징이며 10 μm 내 등줄안다리(fibulae)와 점무늬열 개수에도 미세한 차이가 있다.

*P. caciantha*는 세포 외형이 *P. cuspidata*와 비슷하게 완만한 곡선을 이룬다(Fig. 3E). 하지만 등줄안다리(fibulae) 쪽의 개각면이 반대쪽보다 더 급하게 곡선을 이루어 양측이 미약하게 비대칭이다. 점무늬열(striae)에 있는 1줄의 다공(poroid)과 중앙볼록마디(central nodule)의 존재는 앞 2종과 동일하지만, 다공이 2-6개 부분(sector)으로 나누어진다는 것이 가장 큰 차이이다(Fig. 3F).

*P. calliantha*는 세포 외형이 *P. pseudodelicatissima*처럼 직선에 가깝다(Fig. 3G). 10 μm 내 등줄안다리(fibulae) 개수와 점무늬열(striae) 개수, 1 μm 내 다공(poroid) 개수, 1개 점무늬열 내 다공의 줄 수 등은 앞 3종과 동일하거나 큰 차이가 없지만, 다공 형태에서 뚜렷한 차이를 보인다(Table 2). 다공에는 3-10의 작은 부분(sector)이 방사상으로 분포하고, 다공의 한가운데에도 작은 부분(sector)이 있다(Fig. 3H).

*P. americana*는 세포 형태가 전반적으로 짧은 막대 모양이다(Fig. 4A). 개각 대부분이 직선이고 세포 끝 부분에서 완만하게 좁아지며 끝은 뾰족하다. 등줄안다리(fibulae)와 점무늬열(striae)의 비율이 대략적으로 2:3 정도이며 중간에 긴 공간(central large interspace)이 없다(Fig. 4B, Table 2). 다공(poroid)은 점무늬열에 2줄로 배열하며 때때로 3줄을 보일 때도 있다.

*P. brasiliiana*는 *P. americana*와 구별하기 어려울 정도로 유사한 외형을 하고 있다(Fig. 4C). 다만, 미세구조에서 작은 차이가 있는데, 10 μm 내에 등줄안다리(fibulae)와 점무늬열(striae)의 개수가 거의 동일하다(Fig. 4D, Table 2).

*P. multistriata*는 개각(valve) 중간 부분이 직선이고 끝 부분에서 급격히 가늘어진다(Fig. 4G). 특징적인 것은 측면(환각면; girdle view)이 전체적으로 S자 모양으로 형태 특성이 뚜렷하여 광학현미경으로도 확인할 수 있다. 점무늬열(striae)은 개각 축의 수직면에 약간 기울어져 사선을 이루는 부분이 많고, 직선보다는 불규칙하게 꾸불꾸불한 배열을 한다(Fig. 4H). 중간에 긴 공간(central interspace)은 존재하지 않고, 2줄의 작은 다공(poroid)은 점무늬열(striae) 양측에 배열한다(Table 2).

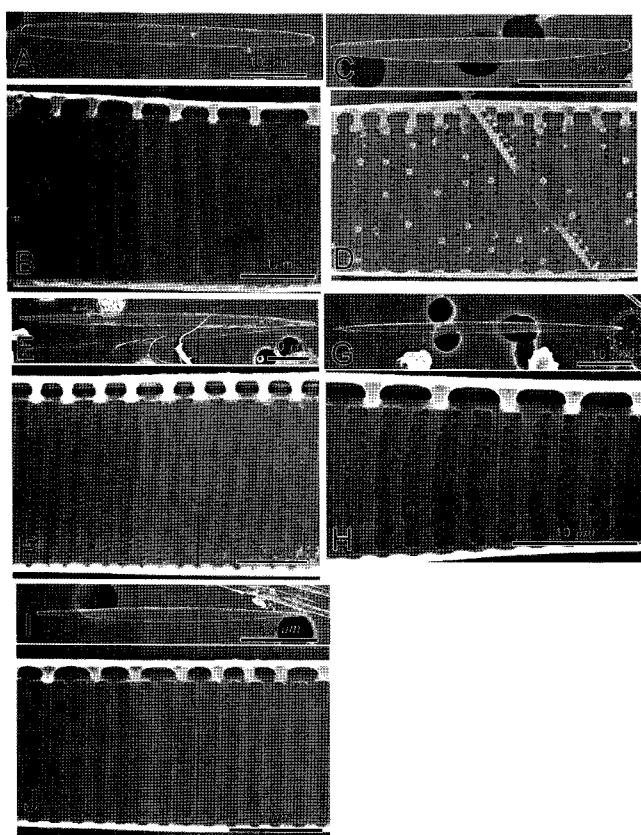


Fig. 4. Scanning electron micrographs of *Pseudo-nitzschia*, processed on Millipore filters. (A) *P. americana*, whole valve. (B) *P. americana* internal surface. (C) *P. brasiliiana*, whole valve. (D) *P. brasiliiana* internal surface. (E) *P. multistriata*, whole valve. (F) *P. multistriata* internal surface. (G) *P. delicatissima* whole valve. (H) *P. delicatissima* internal surface. (I) *P. micropora* whole valve. (J) *P. micropora* internal surface.

*P. delicatissima*는 세포 외형이 전반적으로 완만한 곡선이다(Fig. 4E). 세포 중간에 중앙볼록마디(central nodule)가 있으며, 다공(poroid)은 점무늬열(striae) 양측에 2줄로 배열하고 때때로 몇 개의 부분(sector)으로 갈라지기도 한다(Fig. 4F, Table 2).

*P. micropora*는 세포 중간 부분이 완만한 곡선 또는 짧은 직선 이고, 전체 길이의 1/3~1/4에 해당하는 부분부터 급격히 가늘어져, 가늘고 뾰족한 부위가 차지하는 부분이 상대적으로 많다(Fig. 4I). 세포 중간에 긴 공간(central interspace)은 없고, 등줄안다리(fibulae) 하나에 2개 정도의 점무늬열(striae)이 있다(Fig. 4J, Table 2). 다공(poroid)은 점무늬열(striae) 양측에 2줄로 배열한다.

시기별 출현양상

Pseudo-nitzschia 속의 출현 양상은 월별로 조금씩 달랐다. 5월에 4종이 출현하여 조사 기간 중 가장 적은 출현종 수를 보였고, 6월 6종, 7월 8종, 8월에 10종이 출현하여 점차 증가하다가 9월에 12종으로 최고에 이르렀다. 9월 이후에는 다시 감소하기 시작하여 10월에는 7종만 출현하였고, 현장 조사를 1회만 수행한 11월에는 5종에 불과하였다(Table 3). 전체적으로 늦여름으로 갈수록 출현종 수가 크게 증가하였고, 이 시기를 벗어난 봄, 가을에는 감소하는 경향을 보였다. 가장 적은 종이 출현한 조사일은 5월 22일로 *P. cuspidata*와 *P. delicatissima* 2종만 출현하였고, 9월 17일은 *P. pseudodelicatissima*와 *P. subfraudulenta*를 제외한 11종이 출현하여 가장 많은 출현종 수를 보였다.

가장 빈번하게 출현한 종은 *P. americana*로 5월 22일을 제외한 모든 조사 일에 출현하였고, *P. pungens*도 *P. americana*만큼 자주 출현하지는 않았지만, 모든 조사 일에 출현하여 높은 출현빈도를 보였다. 이 밖에 *P. delicatissima*도 5-10월까지, 11월을 제외한 모든 달에 출현하여 자주 관찰할 수 있었다. 반면, *P. subfraudulenta*는 8월 4일 1회만 출현하였고, *P. brasiliiana*는 8월과 9월, *P. pseudodelicatissima*는 7월과 9월, *P. subpacific*a는 9월과 10월, 2달만 출현하여 매우 낮은 출현빈도를 보였다. *P. calliantha*는 7월에서 9월까지 3개월 동안 연속 출현하였고, *P. cacciantha*와 *P. cuspidata*는 각각 7월에서 11월, 5월에서 9월까지 5개월 동안 연속 출현하였다. 또한 *P. micropora*는 6월부터 9월까지 모든 조사 일에 연속 출현하였고, 독성이 강한 것으로 알려진 *P. multiseri*es는 9월에 처음 출현한 이후 11월까지 연속적으로 출현하였다. *P. multistriata*는 6월 23일에 처음 출현한 후 8월까지 관찰되지 않았으나 그 이후 다시 출현하여 11월까지 연속 출현하였다.

Table 3. *Pseudo-nitzschia* species observed in Tongyeong coastal waters, 2008

Toxon	Date													
	7 May	22 May	11 June	23 June	15 July	28 July	4 Aug.	26 Aug.	11 Sep.	17 Sep.	12 Oct.	28 Oct.	5 Nov.	
<i>Pseudo-nitzschia americana</i>	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
<i>P. brasiliiana</i>								+		+				
<i>P. cacciantha</i>						+	+		+	+	+	+	+	
<i>P. calliantha</i>						+	+	+	+	+				
<i>P. cuspidata</i>	+	+		+		+		+		+				
<i>P. delicatissima</i>	+	+	+	+		+	+	+		+	+			
<i>P. micropora</i>			+	+	+	+	+	+	+	+				
<i>P. multiseri</i> es									+	+	+	+	+	
<i>P. multistriata</i>				+			+	+	+	+	+	+	+	
<i>P. pseudodelicatissima</i>						+			+					
<i>P. pungens</i>	+		+		+		+	+	+	+	+	+	+	
<i>P. subfraudulenta</i>							+							
<i>P. subpacific</i> a									+	+	+			

고 찰

Pseudo-nitzschia 속은 전통적으로 세포 폭이 4 μm 를 넘는 'seriata' 그룹과 그 이하인 'delicatissima' 그룹으로 크게 구별한다. 그런 측면에서 연구해역에 출현한 'seriata' 그룹은 일부 strain의 폭이 4 μm 를 넘지 못한 *P. pungens*를 포함하여 *P. multiseriata*, *P. subfraudulenta*, *P. subpacificata* 4종이었고, 'delicatissima' 그룹은 나머지 9종이었다. 'delicatissima' 그룹은 다시 세부적으로, 외부 형태가 전반적으로 막대 모양이고 끝이 뾰족한 'americana' 그룹(Lundholm et al., 2002), 세포 중간 부분이 크게 팽창하고 끝 부분이 길고 뾰족한 'micropora' 그룹(Priisholm et al., 2002), 세포 폭의 변화가 크지 않고 끝이 뾰족하며 poroid가 작고 둥근 'delicatissima' 그룹(Lundholm et al., 2006), 앞 그룹과 유사하지만 poroid가 크고 여러 개 sector로 나누어진 'pseudodelicatissima' 그룹(Lundholm et al., 2003) 등으로 구분할 수 있다. 본 연구에서는 'americana' 그룹에서 *P. americana*와 *P. brasiliana* 2종이 출현하였고, 'pseudodelicatissima' 그룹에서 *P. caciantha*, *P. calliantha*, *P. cuspidata*, *P. pseudodelicatissima* 4종, 'delicatissima' 그룹과 'micropora' 그룹에서 각각 *P. delicatissima*와 *P. micropora*가 출현하였다.

국내 보고서나 문헌에는 *P. delicatissima* 또는 *Nitzschia delicatissima*가 한국 동해 남부해역(심 등, 1995), 영일만(심과 배, 1985), 천수만(심과 여, 1988), 만경-동진강(심 등, 1991; 유 등, 2002), 광양만(심 등, 1984) 등 많은 해역에서 출현한다. 하지만 이들 대부분이 광학현미경에 기초한 정보이기 때문에 이 종이 독성종이라는 것을 감안하면 재검토가 필요하다. Lundholm et al.(2006)은 분자생물학적 접근을 통하여 이전에 *P. delicatissima*로 분류하던 종이 실제로는 *P. decipiens*, *P. delicatissima*, *P. dolorosa* 3종의 복합체라고 발표하였다. 이 3종은 형태가 매우 유사하여 광학현미경으로는 동정이 불가능하고 전자현미경으로 미세구조를 관찰하여야 동정이 가능하다. 광학현미경으로 동정할 때 *P. delicatissima*로 동정하기 쉬운 종은 이들 외에도 세포 폭이 3 μm 이하이고 뾰족한 끝을 가진 바늘 모양의 종을 대부분 포함한다. 지금까지 학계에 보고된 32종 중에서 여기에 해당하는 종은 모두 15종을 상회한다. 특히 'pseudodelicatissima' 그룹에 속하는 *P. caciantha*, *P. calliantha*, *P. cuspidata*, *P. mannii*, *P. pseudodelicatissima* 5종은 'delicatissima' 전체 그룹과 매우 유사하여 광학현미경으로 두 그룹의 구별이 거의 불가능하다. 게다가 그룹 내 각 종은 전자현미경으로도 구별이 쉽지 않다. 따라서 광학현미경에 기초하여 국내 출현이 보고된 *P. delicatissima*는 세포 폭 3 μm 이하의 바늘 모양을 한 모든 *Pseudo-nitzschia* 종들의 복합체로 보아야 할 것이다.

독성종 *P. seriata*도 일찍이 국내 여러 해역에서 *Nitzschia seriata*로 그 출현이 보고되었고(최, 1966, 1967, 1969; 박, 1979; Yoo and Lee, 1980; 심 등 1984; 최와 심, 1986), 최근에도 여전히 보고되고 있다(윤, 1998, 2000; 강과 최, 2001; 강과 김, 2006). 하지만 *P. seriata*는 *P. delicatissima*와 조금 다른 경우이다. Hasle(1972, 2002)은 *P. seriata*가 북위 45° 이북의 대서양 고위도 해역에서만 출현하고 다른 해역에서는 출현하지 않는 것으로 보고하였다. 또한 북태평양에 출현하는 것으로 보고된 *P. seriata*에 대해서는 시료를 재검토하여 *P. australis*를 잘못 분류한 것이라고 밝혔다. 본 연구에서도 *P. seriata*는 출현하지 않았고, 진해만을 대상으로 1998

년 한 해 동안 조사를 수행한 박(1999)의 결과에서도 *P. seriata*는 출현하지 않았다. 좀 더 많은 국내 연안 해역의 시료를 확인해 보아야 명확히 알 수 있겠지만, *P. seriata*의 국내 출현은 형태적으로 유사한 다른 종을 잘못 분류하여 발생한 결과인 것으로 보인다. 통영 해역과 진해만에 출현한 종을 기준으로 하면, *P. seriata*와 폭과 형태가 유사한 *P. subfraudulenta*를 *P. seriata*로 잘못 동정하였을 가능성이 있다. 또한, *P. subfraudulenta*와 형태가 유사하고 분포해역이 더 넓은 *P. fraudulenta*도 국내 연안해역에서 출현하므로(미발표 자료), 이 종을 잘못 동정하였을 가능성도 있다. 북태평양 25-55°N에서 출현하는 것으로 알려진 *P. australis*도 가능성이 있는 종이다. 이 종은 *P. multiseriata*와 *P. seriata*에 버금가는 강한 독성을 가진 것으로 평가받고 있는 종이므로 동정시에는 각별한 주의가 요구된다. 다만, 아직 국내 연안에서 발견되지 않았으므로, 그 가능성은 다른 종보다 떨어지는 것으로 판단된다.

지금까지 전세계적으로 DA를 생산하는 것으로 밝혀진 잠재 독성 *Pseudo-nitzschia*는 모두 11종이다; *P. australis*, *P. calliantha*, *P. cuspidata*, *P. delicatissima*, *P. fraudulenta*, *P. galaxiae*, *P. multiseriata*, *P. multistriata*, *P. pungens*, *P. seriata*, *P. turgidula* (Skov et al., 1999; Frixell and Hasle, 2003; Moestrup and Lundholm, 2007). 이 중에서 본 연구를 포함하여 국내에 출현하는 것으로 알려진 종은 모두 7종이고, 앞서 밝힌 이유로 *P. seriata*를 제외하면 *P. calliantha*, *P. cuspidata*, *P. delicatissima*, *P. multiseriata*, *P. multistriata*, *P. pungens* 6종이다. 이들은 모두 통영연안에 출현하였다.

*P. calliantha*는 Lundholm(2003) 이전에 *P. pseudodelicatissima*로 알려진 종으로 Martin et al.(1990)과 Lundholm et al.(1997)은 *Nitzschia pseudodelicatissima*나 *P. pseudodelicatissima*로 그 독성을 보고하였다. 하지만 Lundholm(2003)은 분자생물학적 접근을 통하여 기존의 *P. pseudodelicatissima*가 무독종과 유독종으로 이루어진 *P. caciantha*, *P. calliantha*, *P. cuspidata*, *P. pseudodelicatissima* 4종의 복합체이며, 새로운 기재에 따라 독성종은 *P. calliantha*이고 *P. pseudodelicatissima*는 독이 없는 것으로 발표하였다. 국내에 출현하는 독성종 중에서 *P. multiseriata*를 제외하면 *P. calliantha*를 포함한 나머지 5종은 모두 독력이 미약한 것으로 알려진 종이다.

연구기간 동안 통영해역에서 관찰한 12종 중에서 8종(66.7%)이 2002년 이후에 신종으로 발표된 종이거나 기존 종이 재기재된 종이다. 그 중 DA를 생산하는 것으로 알려진 잠재 독성종은 *P. calliantha*, *P. cuspidata*, *P. delicatissima* 3종으로 국내에 출현한 잠재 독성종 6종 중에서 50%가 2002년 이후에 학계에 소개된 종이었다. 이는 국내 출현종에 대한 정확한 종 동정의 필요성을 잘 시사한다.

통영연안에 출현한 잠재 독성종의 월별 출현양상을 보면, 6월 이전에는 *P. delicatissima*와 *P. cuspidata*, 7-9월에는 *P. calliantha*와 *P. cuspidata*, *P. multistriata*, 9월 이후에는 *P. multiseriata*, *P. multistriata*가 연속적으로 출현하였다. 독성종의 출현만으로 판단할 때 통영해역은 조사기간 내내 독성 피해를 입을 수 있는 상황이다. 이 중에서 특히 독성이 강한 것으로 알려진 *P. multiseriata*는 최초로 독성 피해를 일으킨 사례가 있는 종이므로(Bates et al., 1989), 이들이 출현하는 9월 이후에는 특별한 주의와 관심이 요구된다. 물론, 본 연구와 같이 종의 출현 여부만 확인하는 정성 분석으로는 독성피해를 예측 또는 예방할 수 없으므로, 현존량의 정

량적인 변동도 파악하여야 할 것이다.

이와 백(1995)은 진해만에서 1993년 4월 30일 최고 39.57 g⁻¹에 이르는 높은 DA 농도를 보고한 바 있다. 6종의 독성종이 국내 연안역에 분포하는 것을 고려하면, 비단 진해만뿐 아니라 다른 해역에서도 이렇게 높은 농도의 DA가 존재할 수 있다. 이는 국내에서도 *Pseudo-nitzschia*에 의한 독성 피해가 발생할 수 있으므로 DA 원인종에 대한 지속적인 탐색이 필요함을 의미한다. *Pseudo-nitzschia*는 종주에 따라 독성이 나타나기도 하고 그렇지 않기도 한다. 그러므로 모든 국내 출현종에 대해서 배양 종주를 확보하고 독성을 확인할 필요가 있다. 아울러 전자현미경으로 형태 특성을 명확히 하고, 확인한 종에 대해서는 미세한 차이에 불과할지라도 광학현미경으로 관찰할 수 있는 특징도 규명하여야 한다. DA 변동을 이해하기 위해서는 각 출현종의 시공간적인 분포와 양적 변동도 관찰하여야 할 것이다. 전자현미경으로 정량적인 판단을 하는 것은 너무 많은 시간을 소모하므로 realtime PCR과 같은 분자생물학적 기법을 활용하는 것도 좋은 방법이 될 것이다.

사 사

본 논문은 국립수산물과학원(RP-2009-ME-012) 적조 발생메카니즘 및 제어연구사업으로 운영되었습니다. 연구비 지원에 감사드리며, 시료 분리와 배양에 도움을 준 군산대학교 해양학과 임걸, 김성현, 유란님께 고마움을 전합니다. 또한 세심한 지적과 조언을 아끼지 않은 상명대학교 이진환 교수님과 해양연구원 백승호 박사님께도 진심으로 감사드립니다.

참고문헌

강연식, 최중기, 2001. 고리, 월성, 울진 및 영광 연안해역의 식물플랑크톤 군집의 생태학적 특성 I. 종조성 및 분포(1992-1996년). *Algae*, **16**(1): 85-111.

강정훈, 김용서, 2006. 인위적인 동물플랑크톤 첨가에 따른 중형 폐쇄생태계 내 플랑크톤 변동. *한국해양환경공학회지*, **9**(2): 109-119.

박종규, 조은섭, 허현정, 손재경, 이동섭, 1999. 진해만의 잠재 독성규조 *Pseudo-nitzschia* 속의 출현양상과 신속한 동정. 인제대학교 개교20주년 기념 적조연구단 특별 심포지움 발표논문집 -국내 적조연구의 최근 동향과 제어기법. pp. 70-84.

박주석, 1979. 마산만 환경오염 평가를 위한 야외 생물 오염 시험 연구. *한국해양학회지*, **14**(1): 15-25.

심재형, 배세진, 1985. 영일만의 식물플랑크톤 분포. *한국해양학회지*, **20**(2): 49-60.

심재형, 신윤근, 여환구, 1991. 만경동진강 하구 표영생태계의 무생물 환경과 일차생산자. I. 환경 특성과 식물플랑크톤의 군집 구조. *한국해양학회지*, **26**(2): 155-168.

심재형, 신윤근, 이원호, 1984. 광양만 식물플랑크톤 분석에 관한 연구. *한국해양학회지*, **19**(2): 172-186.

심재형, 여환구, 1988. 천수만 식물플랑크톤의 공간적-시간적 변화. *한국해양학회지*, **23**(3): 130-145.

심재형, 여환구, 박종규, 1995. 한국 동해 남부해역의 일차생산계. *한국해양학회지*, **30**(3): 163-169.

유영두, 정해진, 심재형, 박재연, 이경재, 이원호, 권효근, 배세진,

박종규, 2002. 전북 새만금 남쪽 해역의 유해성 적조 발생연구. I. 1999년도 여름-가을 식물플랑크톤의 시공간적 변화. *바다*, **7**(3): 129-139.

윤양호, 1998. 시아해 식물플랑크톤 군집의 계절변동 특성. *환경생물*, **16**(4): 403-409.

윤양호, 2000. 해창만의 생물해양학적 환경특성. I. 식물플랑크톤 군집의 계절변동 및 분포 특성. *한국수산학회지*, **33**(1): 43-50.

이진환, 백정현, 1995. 남해안에서 독성을 생성하는 돌말류 *Pseudo-nitzschia multiseries* (Halse) Halse II. Domoic Acid의 생성. *Algae*, **12**(1): 31-38.

최 상, 1966. 한국해역의 식물플랑크톤의 연구 I. 1965년 하계의 한국해협 표층수의 식물 플랑크톤의 양 과 분포. *한국해양학회지*, **1**: 14-21.

최 상, 1967. 한국해역의 식물플랑크톤에 관한 연구. II. 한국연안 수역의 식물플랑크톤. *한국해양학회지*, **2**: 1-12.

최 상, 1969. 한국해역의 식물플랑크톤의 연구. IV. 동해, 남해 및 서해해역의 식물플랑크톤. *한국해양학회지*, **4**(2): 49-67.

최중기, 심재형, 1986. 서해 경계만 식물플랑크톤에 대한 생태학적 연구 III. 식물 플랑크톤 종조성, 현존량, 일시부유플랑크톤. *한국해양학회지*, **21**(3): 156-170.

Amato, A. and M. Montesor, 2008. Morphology, phylogeny, and sexual cycle of *Pseudo-nitzschia mannii* sp. nov. (Bacillariophyceae): a pseudo-cryptic species within the *P. pseudodelicatissima* complex. *Phycologia*, **47**(5): 487-497.

Bates, S.S., C.J. Bird, A.S.W. de Freitas, R. Foxall, M. Gilgan, L.A. Hanic, G.R. Johnson, A.W. McCulloch, P. Odense, R. Pocklington, M.A. Quilliam, P.G. Sim, J.C. Smith, D.V. Subba Rao, E.C.D. Todd, J.A. Walter and J.L.C. Wright, 1989. Pennate diatom *Nitzschia pungens* as the primary source of domoic acid, a toxin in shellfish from Eastern Prince Edward Island. *Canada. Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **46**: 203-1215.

Bill, B.D., N. Lundholm, L. Connell, K.A. Baugh and V. Trainor, 2005. Domoic acid in *Pseudo-nitzschia cuspidata* from Washington State coastal waters. 3rd Symposium on Harmful Algae in the US, Monterey, CA. Oct. 2-7, 2005, p. 77.

Cerino, F., L. Orsini, D. Sarno, C. dell'Aversano, L. Tartaglione and A. Zingone, 2005. The alternation of different morphotypes in the seasonal cycle of the toxic diatom *Pseudo-nitzschia galaxiae*. *Harmful Algae*, **4**: 33-48.

Cho, E.S., J.-G. Park, H.G. Kim, C.H. Kim, L.L. Rhodes and C.S. Chung, 1999. The Rapid Differentiation of Toxic *Alexandrium* and *Pseudo-nitzschia* Species Using Fluorescent Lectin Probes. *J. of Kor. Soc. of Oceanogr.*, **34**(3): 167-171.

Fryxell, G.A. and G.A. Hasle, 2003. Taxonomy of harmful diatoms. In: Manual on harmful marine microalgae, edited by Hallegraef, G.M., D.M. Anderson and A.D. Cembella, UNESCO, Paris, pp. 465-509.

Hasle, G.R., 1972. The distribution of *Nitzschia seriata* Cleve and allied species. *Beih. Nova Hedwigia*, **39**: 171-190.

Hasle, G.R., 2002. Are most of the domoic acid-producing species of the diatom genus *Pseudo-nitzschia* cosmopolite? *Harmful Algae*, **1**: 137-146.

Lundholm, N., G.R. Hasle, G.A. Fryxell and P.E. Hargraves, 2002. Morphology, phylogeny and taxonomy of species within the *Pseudo-nitzschia americana* complex (Bacillariophyceae) with

- descriptions of two new species, *Pseudo-nitzschia brasiliiana* and *Pseudo-nitzschia linea*. *Phycologia*, **41**(5): 480–497.
- Lundholm, N. and Ø. Moestrup, 2002. The marine diatom *Pseudo-nitzschia galaxiae* sp. nov. (Bacillariophyceae): morphology and phylogenetic relationships. *Phycologia*, **41**(6): 594–605.
- Lundholm, N., Ø. Moestrup, G.R. Hasle and K. Hoef-Edmen, 2003. A study of the *P. pseudodelicatissima/cuspidata* complex (Bacillariophyceae): what is *Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima*? *J. Phycol.*, **39**: 797–813.
- Lundholm, N., Ø. Moestrup, Y. Kotaki, K. Hoef-Edmen, C. Scholin and P. Miller, 2006. Inter- and intraspecific variation of the *Pseudo-nitzschia delicatissima* complex (Bacillariophyceae) illustrated by rRNA probes, morphological data and phylogenetic analyses. *J. Phycol.*, **42**: 464–481.
- Lundholm, N., J. Skov, R.G. Pocklington and Ø. Moestrup, 1994. Domoic acid, the amino acid responsible for amnesic shellfish poisoning, now in *Pseudo-nitzschia seriata* (Bacillariophyceae) in Europe. *Phycologia*, **33**: 475–478.
- Lundholm, N., J. Skov, R.G. Pocklington and Ø. Moestrup, 1997. Studies on the marine planktonic diatom *Pseudo-nitzschia* II. Autecology of *P. pseudodelicatissima* (Hasle) Hasle, based on isolates from Danish coastal waters. *Phycologia*, **36**: 381–388.
- Marchetti, A., N. Lundholm, Y. Kotaki, K. Hubbard, P.J. Harrison and E.V. Armbrust, 2008. Identification and assessment of domoic acid production in oceanic *Pseudo-nitzschia* (Bacillariophyceae) from iron-limited waters in the northeast subarctic Pacific. *J. Phycol.*, **44**: 650–661.
- Martin J.L., K. Haya, L.E. Burrige and D.J. Wildish, 1990. *Nitzschia pseudodelicatissima* – a source of domoic acid in the Bay of Fundy, eastern Canada. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **67**: 177–182.
- Moestrup, Ø. and Lundholm, N. 2007. *IOC Taxonomic Reference List of Toxic Plankton Algae Diatoms*. <http://www.bi.ku.dk/ioc/group1.asp> (accessed 27 March 2009).
- Orsini L., D. Sarno, G. Procaccini, R. Poletti, J. Dahlmann and M. Montresor, 2002. Toxic *Pseudo-nitzschia multistriata* (Bacillariophyceae) from the Gulf of Naples: morphology, toxin analysis and phylogenetic relationships with other *Pseudo-nitzschia* species. *Eur. J. Phycol.*, **37**: 247–257.
- Rhodes L., C. Scholin, I. Garthwaite, A. Haywood and A. Thomas, 1998. Domoic acid producing *Pseudo-nitzschia* species deduced by whole cell DNA probe-based and immunochemical assays. In: *Harmful Algae*, edited by Reguera, B., J. Blanco, M.L. Fernández and T. Wyatt, Xunta de Galicia and IOC of UNESCO, Santiago de Compostela, Spain, pp. 274–277.
- Rhodes L.L., D. White, M. Syhre and M. Atkinson, 1996. *Pseudo-nitzschia* species isolated from New Zealand coastal waters: domoic acid production in vitro and links with shellfish toxicity. In: *Harmful and Toxic Algal Blooms*, edited by Yasumoto, T., Y. Oshima and Y. Fukuyo, IOC of UNESCO, Paris, pp. 155–158.
- Scholin, C.A. and D.M. Anderson. 1994. Identification of group- and strain genetic markers for globally distributed *Alexandrium* (Dinophyceae). I. RFLP analysis of SSU rRNA genes. *J. Phycol.*, **30**: 744–754.
- Simonsen, R. 1974. The diatom plankton of Indian Ocean Expedition of R/V “Meteor” 1964–65. “Meteor” Forsch. -Ergebnisse Reihe D., **19**: 1–107.
- Skov, J., N. Lundholm, Ø. Moestrup and J. Larsen, 1999. Potentially toxic phytoplankton. 4. The diatom genus *Pseudo-nitzschia* (Diatomophyceae/Bacillariophyceae). In: *ICES Identification Leaflets for Plankton*. No. 185, edited by Lindley, J.A., International Council for the Exploration of the Sea, pp. 1–23.
- Smith J.C., J.L. McLachlan, P.G. Cormier, K.E. Pauley and N. Bouchard, 1991. Growth and domoic acid production and retention by *Nitzschia pungens forma multiseriata* at low temperatures. In: *Toxic Phytoplankton Blooms in the Sea*, edited by Smayda, T.J. and Y. Shimizu. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, pp. 631–636.
- Subba Rao, D.V., M.A. Quilam and R. Pocklington, 1988. Domoic acid - a neurotoxic amino acid produced by marine diatom *Nitzschia pungens* in culture. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **45**: 2076–2079.
- Todd, E.C.D., 1993. Domoic acid and amnesic shellfish poisoning - a review. *J. Food Protect.*, **56**: 69–83.
- Wright, J.L., R.K. Boyd, A.S.W. de Freitas, M. Falk, R.A. Foxall, W.D. Hamieson, M.V. Laycock, A.W. McCulloch, A.G. McInnes, P. Odense, V.P. Pathak, M.A. Quilliam, M.A. Ragan, P.G. Sim, P. Thibault, J.A. Walter, M. Gilgan, D.J.A. Richard and D. Dewar, 1989. Identification of domoic acid, a neuroexcitatory amino acid, in toxic mussels from eastern Prince Edward Island. *Can. J. Chem.*, **67**: 481–490.
- Yoo, K.I. and J.W. Lee, 1980. Environmental Studies of the Jinhae Bay 3. Ecological Succession of Phytoplankton Populations, 1974–1980. *J. Kor. Soc. Oceanogr.*, **15**(2): 100–107.

2009년 3월 31일 원고접수

2009년 8월 3일 수정본 채택

담당편집위원: 이준백