

유독와편모조류 *Alexandrium catenella* (Group I)의 마비성패독 생산에 미치는 수온과 염분의 영향

남기택* · 오석진**†

* 부경대학교 해양학과 석사, ** 부경대학교 해양학과 교수

Influence of Water Temperature and Salinity on the Production of Paralytic Shellfish Poisoning by Toxic Dinoflagellate *Alexandrium catenella* (Group I)

Ki Taek Nam* · Seok Jin Oh**†

* Master, Department of Oceanography, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

** Professor, Department of Oceanography, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

요 약 : 본 연구에서는 실내에서 다양한 수온과 염분 조건에서 유독와편모조류 *Alexandrium catenella*(Group I)의 성장과 함께 마비성패독의 함량을 조사하였다. *A. catenella*의 수온과 염분 최적생장은 각각 20~30℃와 20~30 psu였으며, 광온성과 광염성종으로 나타났다. *A. catenella*는 낮은 수온 구간(10℃와 15℃)에서 독함량과 독성이 높게 나타났으며, 염분에 따라서는 차이가 크지 않았다. 따라서 15℃이하의 수온에서 본 종주와 같은 생리적인 특성을 가진 유독와편모조류가 우점한다면, 이매패류는 빠르게 독화될 가능성이 있다. 향후 *A. catenella*의 출현에 따른 마비성패독 예찰·예보를 위해 다양한 환경변화에 따른 *A. catenella*의 다른 종주와 상업적인 이매패류 독화에 대한 연구가 더 필요한 것으로 판단된다.

핵심용어 : *Alexandrium catenella*, 수온, 염분, 성장, 마비성패독

Abstract : In this study, the variability in paralytic shellfish poisoning (PSP) by the toxic dinoflagellate *Alexandrium catenella* (Group I) was analyzed under a variety of water temperatures and salinities. This dinoflagellate experienced optimum growth at temperatures and salinities of 20~30℃ and 20~30 psu, respectively. These findings indicate that *A. catenella* is an eurythermal and euryhaline organism. High toxin contents and toxicities were observed at low temperatures (10 and 15℃), where they were associated with low growth rates; salinity did not have any significant impact on toxicity parameters. Therefore, it is likely that *A. catenella* contributes to the rapid intoxication of commercial bivalve when temperatures are ≤15℃. To better estimate PSP caused by *A. catenella*, we suggest that the influence of various environmental factors controlling PSP should persist with other *A. catenella* stains and commercial bivalves.

Key Words : *Alexandrium catenella*, Temperature, Salinity, Growth, Paralytic shellfish poisoning (PSP)

1. 서론

우리나라의 마비성패독(paralytic shellfish poisoning; PSP)은 부산연안 및 진해만 중심에서 점차 남해안 해역으로 확대되고 있다(NIFS, 2016). 더욱이 이매패류의 독화에 의한 채취금지 및 출하정지가 매년 계속되고 있으며, 독화의 강도도 점차 심해지고 있다(Nam et al., 2020). PSP에 의한 중독 사고는

1986년 부산 감천항에서 폐선 바닥에 붙어 있는 홍합을 먹고 11명의 PSP중독 환자가 발생하였으며, 그중 2명이 사망하였고, 1996년 경남 거제에서 낚시꾼들이 방파제에 부착된 홍합을 먹고 2명이 사망하는 등 보건학적 문제가 지속적으로 발생하고 있다(Chang et al., 1987; Lee et al., 1997).

PSP를 주로 유발하는 *Alexandrium*은 1970년대에 주로 미국, 유럽, 일본 및 호주 등 대부분 북반구의 온대지역으로 한 출현 보고가 우세하였으나, 최근에는 전 세계의 해역에서 출현하고 있다(Wang and Hsieh, 2001; Anderson et al., 2012;

* First Author : nkt6699@naver.com, 051-629-6576

† Corresponding Author : sjoh1972@pknu.ac.kr, 051-629-6576

Rossini, 2014). 국내 연안에서 *Alexandrium* 속의 최초 출현 보고는 1978년인 것으로 알려져 있으며(Cho, 1978), 약 20여 종의 *Alexandrium* 속 중에서 우리나라에서는 *A. catenella*, *A. affine*, *A. insuetum*, *A. tamarense*, *A. minutum*, *A. fraterculus* 등 약 6여 종이 출현하는 것으로 알려져 있다(Shin et al., 2014; Kim et al., 2017). 2000년도 이후 *Alexandrium* spp.에 의한 대발생이 점차 증가하고 있는 추세이며(Lee et al., 2017), 특히 유독 와편모조류에 의한 PSP는 전 세계적으로 인류 보건과 패류 양식업에 심각한 문제를 발생시키고 있다.

우리나라에서는 대표적인 PSP 원인종은 *Alexandrium catenella*, *A. pacificum* 그리고 *Gymnodinium catenatum*이지만, *G. catenatum*에 의한 이매패류 PSP는 현재까지 보고가 된 적이 없으며, 대부분이 *A. catenella*와 *A. pacificum*이 원인종으로 보고되고 있다(최근 분자계통학적 데이터를 사용하여 확인된 *A. tamarense*와 *A. catenella*는 *A. catenella*와 *A. pacificum*으로 재지정되었다; Shin et al., 2017). 이들 종은 적조에 준하는 밀도로 성장하는 현상은 드물지만, 낮은 개체군 밀도만으로도 이매패류를 독화시킬 수 있어 주의가 필요하다(Oh et al., 2012).

한편, *Alexandrium* 속은 조도(light intensity), 염분(salinity), 온도(temperature), 영양염(nutrient) 등 물리-화학적 환경요소 변화로 성장속도 및 PSP 생산이 결정되며, 이와 같은 요소들이 복합적으로 작용하여 연안역에서 PSP가 발생하는 것으로 알려져 있다(Cembella et al., 1988; Barbera-Sanchez et al., 1993). 수온은 효소활성에 관여하여 일반적으로 수온이 상승하면 세포활성의 증가로 성장속도는 증가하며(Epplly, 1972; Davison and Davison, 1987), 수온이 낮을 때는 성장속도가 낮아지고, 분열속도가 느려지기 때문에 세포 당 독농도는 증가하게 된다(Navarro et al., 2006). 또한, 낮은 수온에서는 PSP의 선구물질인 아르기닌(Arginine)에 의한 단백질 합성이 낮아지고 잉여의 아르기닌(Arginine)은 독소합성 경로를 통하여 PSP로 생산된다(Anderson et al., 1990). 염분은 세포의 삼투압과 밀접한 연관이 있어, 급격한 염분 변화는 이류(advection)와 확산(diffusion)에 의해 세포가 분산되는 중요한 요인이 되기도 하며, 원형질 분리나 세포 자체를 과열시켜 종천이까지 영향을 미친다(Boney, 1979). 또한 염분에 대한 종의 내성 범위가 다르기 때문에 광염성과 협염성 종으로 나뉘게 되며, 성장속도 차이가 나타나 PSP 생산에 영향을 주게 된다(Laabir et al., 2013).

따라서 본 연구는 분자계통학적으로 재정립된 우리나라의 *A. catenella* (Group I)을 이용하여 PSP 생산에 미치는 수온과 염분의 영향을 실내배양실험을 통하여 살펴보았다. 또한 *A. catenella*에 따른 이매패류의 PSP 독화 가능성도 토의하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 수온과 염분 변화에 따른 *Alexandrium catenella*의 성장 속도

본 연구에서 사용된 *A. catenella* (KNU-YS-01)는 국립수산과학원으로부터 분양받은 종을 사용하였으며, 계대배양은 수온 20°C와 염분 30 psu에 수행하였다. 수온과 염분에 따른 *A. catenella*의 성장 변화 특성을 파악하기 위해서 대수생장기 후기 세포를 배양 플라스크에 접종하여 염분 30 psu 조건 하에서 배양 온도 5, 10, 15, 20, 25, 30°C의 6단계, 배양 온도 20°C 조건으로 염분 15, 20, 25, 30, 35 psu 5단계에서 성장속도를 관찰하였다. 염분 조절은 배지 조제에 사용된 남해 외양수가 약 34 psu이기 때문에 15~30 psu는 이온교환수를 사용하여 조절하였으며, 35 psu는 자연 증발시켜 사용하였다. 염분 변화에 따른 영향을 최대한 배제하기 위해 수온 20°C, 염분 30 psu 그리고 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에 사전배양(pre-culture)을 한 후 대수생장기(exponential growth phase)의 세포를 염분 25와 35 psu의 배지에 이식하여 배양하였다. 그리고 25 psu 배지의 세포가 대수생장기에 있을 때 다시 20 psu로 이식하였으며, 20 psu 배지의 대수생장기 후기의 세포를 다시 15 psu로 이식하여 염분 변화에 따른 성장 억제 영향을 최대한 줄였다. 수온은 20°C의 배양된 세포를 하루에 1°C씩 온도를 증감하여 각각의 온도단계에 도달시켰다. 그 후, 2일 간격으로 오전 10시에 *in vivo* chlorophyll 형광값을 측정하였다. 성장속도(specific growth rate; μ)는 대수생장을 보이는 동안의 형광값을 이용하여 다음 식(1)에 의해 계산하였다.

$$\mu = \frac{1}{\Delta t} \ln \frac{N_t}{N_0} \quad (1)$$

μ : 성장속도(specific growth rate; day⁻¹)

N_0, N_t : 대수생장기에서 초기와 t시간(day) 후의 형광값

Δt : 대수생장기 기간(day)

2.2 수온과 염분 변화에 따른 *Alexandrium catenella*의 마비성 폐독 분석

PSP를 분석하기 위한 시료의 전처리에는 각각의 수온과 염분에서 정상기 초기의 *A. catenella*를 원심분리(약 3,000×g, 10 min)하여 상등액을 제거하고 증류수로 세척한 뒤, 재차 원심분리 하였다. 그 뒤 pellet에 0.5 N 아세트산(acetic acid)을 동량 첨가하고, -20°C에 24시간 냉동보관하였다. 해동 후 초음파 파쇄기로 파쇄하고, 원심분리(10,000×g, 10 min)하여 상등액을 분취하였다. 분취한 상등액을 한외여과기(Ultrafree-MC; M. W.,

10,000, Millipore, Massachusetts, USA)로 여과하였고, 얻어진 시료는 High Performance Liquid Chromatography (HPLC)로 분석하였다.

HPLC 분석은 역상계 컬럼(Hypersil GOLD C8 column; 250 mm × 4.6 mm; Thermo Scientific, Massachusetts, USA)으로 각 성분을 분리한 후, periodic acid로 산화시켜 형광유도체를 만든 다음, 형광검출기로 분석하는 post-column 법을 이용하였다(Oshima, 1995). 분석에 사용된 표준독소는 National Research Council Institute for Marine Biosciences (Halifax, NS, Canada)에서 받았으며, 분석된 시료의 독농도는 표준독소와의 상대 면적비로부터 계산하였다. 또한 독농도(fmole cell^{-1})를 독성(STXeq)으로 전환하기 위해서 Oshima(1995)가 제안한 toxicity equivalent factors (TEFs)를 활용하여 계산하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 수온과 염분 변화에 따른 *Alexandrium catenella*의 성장 속도

수온에 따른 *A. catenella*의 성장을 보면, 10°C에서는 전 측정기간동안 성장을 하지 않았지만, 나머지 수온구간에서는 시간과 함께 성장하였다(Fig. 1). 다만, 10°C는 수온 스트레스에 따라 세포밀도의 감소는 보이지 않았으며, 측정기간동안 일정한 세포밀도를 보였다. 또한 15°C의 경우, 다른 수온 구간보다는 세포밀도의 증가가 빠르지 않았으며, 30°C는 유도기가 비교적 길었지만, 6일 후부터 성장하기 시작하였다. 전 수온구간의 성장속도는 $0.00 \sim 0.23 \text{ day}^{-1}$ 이었으며, 낮은 성장속도는 10~15°C 구간에서($0.00 \sim 0.09 \text{ day}^{-1}$) 그리고 20~30°C 구간에서는 $0.19 \sim 0.23 \text{ day}^{-1}$ 로 나타났다. 즉, 본 연구에서 보고한 *A. catenella* 종주(strain)는 10°C~15°C에서 낮은 성장속도를, 20~30°C에서 비교적 빠른 성장속도를 보이는 것으로 특징지을 수 있다(Fig. 1).

염분에 따른 *A. catenella*의 성장을 보면, 15~35 psu까지 전 구간에서 성장을 하였으며, 35 psu에서 비교적 생장이 느리게 진행되었지만, 나머지 구간에서는 큰 차이가 나타나지 않았다(Fig. 2). 전 구간의 성장속도는 $0.16 \sim 0.22 \text{ day}^{-1}$ 였으며, 15 psu와 35 psu에서 0.18 day^{-1} 와 0.16 day^{-1} 로 비교적 낮았지만, 나머지 구간에서는 유사한 성장속도를 보였다($0.20 \sim 0.22 \text{ day}^{-1}$; Fig. 2). 염분에 대해서는 *A. catenella*는 연안 해역에서 출현 가능한 광염성 종으로 생각된다.

본 실험에서 도출된 최적 수온과 염분은 20~25°C와 20~30 psu로 나타났으며, 타 해역 분리된 종주와 비교를 하면 (Table 1), 남해연안(진해만)에서 분리한 *A. tamarense*와 지역적으로 가까운 일본의 종주보다 비교적 높은 수온역에서 성장을 하는 것으로 나타났으며, 대만에서 분리한 종주와 보

다는 낮은 수온역에서 최적생장을 하는 것으로 보였다. Oh et al.(2012)는 비교적 저수온기인 4월과 5월의 경우 *A. catenella*가, 6월은 *A. catenella*와 *A. pacificum*의 혼합, 7월은 *A. pacificum*이 우점 할 가능성을 보고하였으나, 본 연구에서 사용된 종주의 수온에 대한 생리적인 조건이라면, 충분히 고수온기에도 출현이 가능할 것으로 보여, 6월과 7월에도 *Alexandrium*의 출현 거동에 대한 면밀한 검토가 필요할 것으로 보인다. 또한 7월과 같이 강수량이 높은 시기일지라도 본 종의 가지고 있는 염분에 대한 생리적인 조건이라면 협염성의 생리적 조건을 가진 다른 식물플랑크톤보다 생존경쟁에 유리한 위치에 있을 것으로 판단된다.

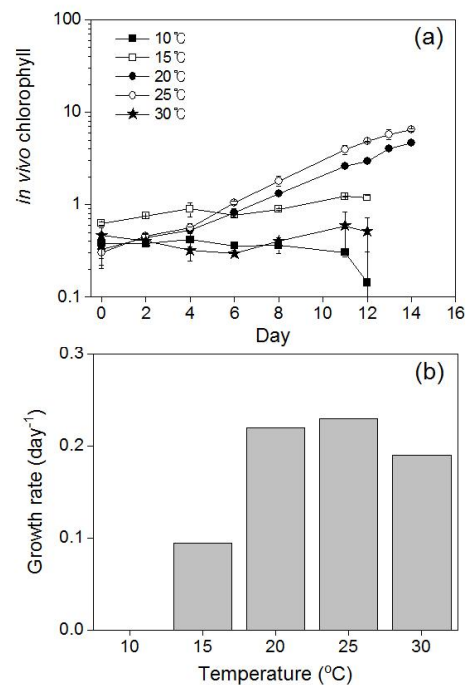


Fig. 1. Growth curves (a) and growth rates (b) of *Alexandrium catenella* under various temperature.

3.2 수온과 염분 변화에 따른 *Alexandrium catenella*의 마비성 패독 분석

본 연구에서 분석한 *A. catenella*의 경우, 주요성분은 N-sulfocarbamoyl 독성인 N-sulfocarbamoyl gonyautoxin 2+3(C1+2), gonyautoxin 5(GTX5) 그리고 carbamoyl 독성으로 gonyautoxin 1+4(GTX1+4)와 neoSaxitoxin(neoSTX)이며, 미량성분은 carbamoyl 독성인 gonyautoxin 2+3(GTX2+3)이었다. 함량으로 보면 C1+2가 60% 이상을 차지하였으며, 비교적 강독으로 보이는 neoSTX도 약 10% 정도로 나타났다(Table 2). 다른 종주의 독조성을 보면(Kim, 1995; Kim et al., 2005; Hamasaki et al., 2001; Yoshida

et al., 2001; Ichimi et al., 2002; Jiang et al., 2013), 대부분이 주요성분이 C1+2중 C2가 대부분이었으며, saxitoxin(STX)와 neoSTX는 종주별로 차이가 나타났다. GTX계열은 대부분 GTX1+4중 GTX4가 주요성분이었고, GTX2+3도 종주 별로 차이는 있지만, 대부분 미량성분으로, 본 연구에서 사용한 종주와 큰 차이는 보이지 않았다.

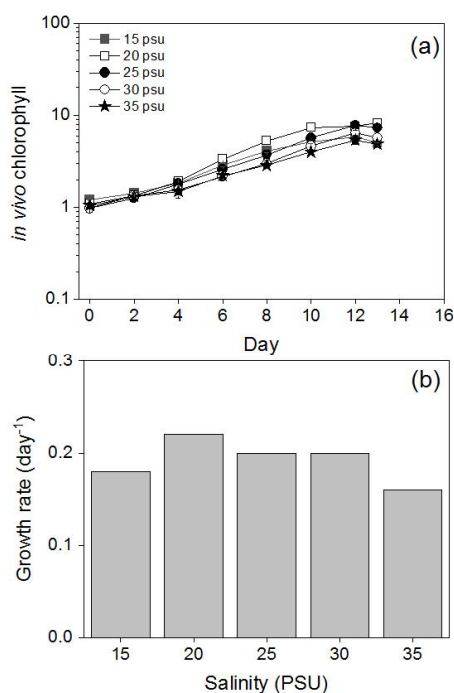


Fig. 2. Growth curves (a) and growth rates (b) of *Alexandrium catenella* under various salinity.

한편, *A. catenella*은 상대적으로 성장속도가 낮은 10~15°C 구간에서 가장 높은 독함량(413~416 fmole cell⁻¹)으로 분석되었으며, 성장속도가 높은 20~30°C 구간에서 가장 낮은 독함량(147~160 fmol cell⁻¹)을 나타내었다(Fig. 3). 독성(toxicity)결과를 보면, *A. catenella*는 10~15°C에서 독성이 높은 neoSTX의 함량으로 독함량과 비교하여 약 5배정도 20~30°C구간보다 높게 나타났다(Fig. 3). 일반적으로 독농도는 성장단계 및 여러 가지 환경요인(수온, 염분, 영양염등)에 따른 성장속도의 변화로 달라지며(Anderson et al., 1990), 성장속도와 독농도는 반비례의 관계가 있는 것으로 설명되어 왔다(Proctor et al., 1975; Ogata et al., 1987). 낮은 수온에서는 단백질 합성의 저하로 인한 아미노산 일종인 아르기닌(arginine)의 증가를 가져오게 되며, 결국 PSP 합성에 사용된다고 알려져 있다(Anderson et al., 1990; Hamasaki et al., 2001). 또한, 낮은 수온은 효소활성에 영향을 미치는 신진대사에도 영향을 주어 세포내의 구성물질로 전환이 낮아지게 되고, 독함량이 높게

나타난다는 연구결과도 있다(Gedaria et al., 2007). 따라서, 낮은 수온에서 성장속도가 낮은 *A. catenella*는 단백질 합성의 저하로 인한 PSP의 선구물질인 아르기닌의 증가로 높은 독함량을 나타낸다는 기존의 보고들과 일치하였다.

Table 1. Comparison of optimal temperature (Temp.) and salinity (Sal.) for growth of the various *A. catenella* strains

Area	Temp. (°C)	Sal. (psu)	References
Jinhae Bay, Korea	16~22	30~35	Lee et al. (2005)
	15	30	Lee et al. (2006)
	15	30	Oh et al. (2012)
Hiroshima Bay, Japan	15	30	Yamamoto and Tarutani (1997)
	17	25	Hamasaki et al. (2001)
Mikawa Bay, Japan	15	32	Yamamoto et al. (1995)
Southern Taiwan	28	-	Su et al. (1993)
Eastern Coast, Canada	-	15-23	Prakash (1967)
Yeosu, Korea	20~25	20~30	This study

Table 2. Toxic profile (mol%) of toxic dinoflagellate *Alexandrium catenella*

Toxic components	<i>A. catenella</i>
C1+2	61.5
GTX1+4	9.97
GTX2+3	0.17
GTX5+6	18.1
dcGTX2+3	0.00
neoSTX	10.3

Baek et al.(2020)은 2017년과 2018년의 거제 인근해역의 *A. catenella*의 출현과 진주담치(*Mytilus galloprovincialis*)의 독화관계를 분석하였으며, 현장수온이 12~15°C에서 진주담치의 PSP의 독성이 기준치(80 µg STX diHCl equivalents 100 g⁻¹)를 초과하였으며, 15°C에서 가장 높은 독성을 나타내었다고 보고하였다. 전술한 것과 같이(Table 1), 대부분의 *A. catenella*는 15°C에서 가장 최적생장을 보이기 때문에, 빠른 이분열에 따라 PSP 함량도 비교적 낮게 나타나야 하지만, 현장의 이때패류의 PSP 독성은 현장수온 15°C에서 높게 나타내기 때문에, 본 연구에서 사용한 종주와 같은 생리적인 특성을 가지는 종주가 분포한다면, 이때패류를 빠르게 독화시킬 가능성이 있다.

유독와편모조류 *Alexandrium catenella* (Group I)의 마비성패독 생산에 미치는 수온과 염분의 영향

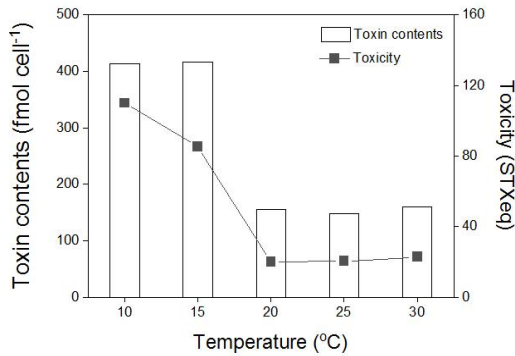


Fig. 3. Toxin contents and toxicities of *Alexandrium catenella* under various temperatures.

Cembella et al.(1987)는 유독 와편모조류를 섭이한 이매패류는 낮은 pH에서 가수분해로 영양세포와 다른 독 조성이 나타난다고 보고하였다. 실제 PSP성분 중 불안정한 N-sulfocarbamoyl 독(C1+2, C3+4 그리고 GTX5+6)을 가지는 유독와편모조류를 이매패류가 섭이하게 되면, 생체전환이 발생하여 독성이 강한 carbamoyl로 전환된다(Asakawa et al., 1995). 즉, N-sulfocarbamoyl 독소 성분이 많은 유독 와편모조류가 존재하여 해수 중에 독성이 낮더라도, 이매패류는 강한 독성을 나타내게 될 가능성이 있다. 따라서 유독플랑크톤과 이매패류의 독화의 관계를 살펴보기 위해서는 현재의 연구와 같이 유독와편모조류의 환경요인에 따른 성장속도의 변화뿐만 아니라, 포식 후에 달라지는 이매패류의 독성을 함께 비교·고찰할 필요성이 있다.

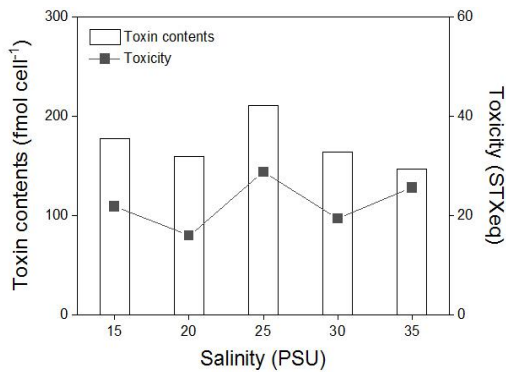


Fig. 4. Toxin contents and toxicities of *Alexandrium catenella* under various salinities.

염분변화에 따른 *A. catenella*의 독함량 변화는 염분범위 (15~35 psu)에서 각각 147~211 fmole cell⁻¹를 가지며 유의한 차이가 나타나지 않았다(t -test, $p < 0.05$; Fig. 4). 독성도 염분단계별로 큰 차이가 없었다(t -test, $p < 0.05$; Fig. 4). 염분과 PSP

관계 연구는 염분증가와 함께 독성이 높아진다는 결과와 반대로 낮아진다는 결과 등, 상반되는 결과가 도출되어 있다. Parkhill and Cembella(1999)에 의하면 광염성 종인 *A. catenella* (원문은 *A. tamarense*)는 염분의 변화가 생리적으로에 영향을 주어 독성에 영향을 미치는 것이 아니고, 염분변화는 성장속도의 차이를 나타내기 때문에 독성이 달라진다고 보고 하였다. 또한 염분농도와 독성 사이에 양의 상관관계를 보인다고 설명하여, 염분증가는 독성증가를 가져오는 것으로 보고 하였다. 이와 유사한 결과는 Laabir et al.(2013)도 보고하였는데, 염분이 증가할수록 독성이 증가한다고 하였다, 반대로 염분이 증가할수록 독성이 감소한다는 결과도 있다(Hamasaki et al., 2001; Grzebyk et al., 2003; Lim and Ogata, 2005). 또한 최대성장속도를 보였던 염분농도에서 최대 독농도가 가장 높았다는 보고도 있다(Lim and Ogata, 2005).

이와 같이 다양한 염분변화에 따른 성장속도와 독함량의 관계로부터 크게 3 그룹(비교적 낮은 염분에 잘 적응한 광염성 종, 비교적 높은 염분에 잘 적응한 광염성 종 그리고 협염성 종)으로 정리할 수 있다(Lim and Ogata, 2005). 낮은 염분에 잘 적응한 광염성 종은 낮은 염분환경(< 15 psu)에서 높은 성장속도를 보이며, 독함량은 염분의 변화에 크게 달라지지 않는다(*A. minutum*이 이 그룹에 속하는 대표 유독와편모조류). 높은 염분에 잘 적응한 광염성 종은 높은 염분농도에서 최적성장속도를 보이고, 독함량은 염분의 변화에 크게 영향을 받는다(*A. catenella*가 이 그룹에 속하는 대표 유독와편모조류). 마지막으로 협염성 종은 낮은 염분농도에서 생존하지 못하며, 염분과 독함량은 역의 관계를 보인다(*A. tamiyavanichii*가 이 그룹에 속하는 대표 유독와편모조류). 본 연구의 유독와편모조류는 *A. catenella*이기 때문에 두 번째 그룹에 속하는 생리적인 특징을 보여야 하지만, 결과는 첫 번째 그룹에 속하는 특성을 보였다. 따라서 *Alexandrium* 종에 대한 염분과 독함량의 관계는 종에 따라 달라지는(species-dependent) 특성을 가지고 있을 뿐만 아니라, 같은 종일지라도 서식 해역에 따라 달라지는(region-dependent) 특성도 있기 때문에(Laabir et al., 2013), 향후 복수의 종주에 대한 환경변화와 이에 따라 달라지는 독함량 변화의 검토가 필수적일 것으로 생각된다.

현재 적조에 대한 발생 예찰에 관한 다각적인 연구가 진행되고 있지만, 수십 년 동안 발생하고 있으며, 사회적·보건학적으로 문제를 발생시키고 있는 PSP 예찰·예보에 관한 연구의 진행은 극히 미흡한 상태이다. 이는 전술한 것과 같이 PSP의 종 특이성(species-specific), 및 종주 특이성(strain-specific)에 따라 다양한 PSP가 발현하고 있는 것과 연관시킬 수 있다. 또한 우리나라에서 PSP 모니터링은 동물시험법을 기본으로 하고 있으며, HPLC를 통한 기기분석은 한국에서 생산한 표준물질의 부재로 다양한 연구실에서 분석하기 어려운

점이 있다(Nam et al., 2020). 이러한 기본적인 실험 필수조건을 충분히 구축 후, 본 연구와 같은 환경변화에 따른 PSP 변화의 연구를 가속한다면, 양식어업민의 소득향상에 밀접한 관련이 있을 것으로 생각되는 PSP 예보도 가능할 것으로 보인다.

사 사

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2019년)에 의하여 연구되었습니다.

References

- [1] Anderson, D. M., D. M. Kulis, J. J. Sullivan, S. Hall, and C. Lee(1990), Dynamics and physiology of saxitoxin production by the dinoflagellates *Alexandrium* spp., *Marine Biology*, Vol. 104, pp. 511-524.
- [2] Anderson, D. M., T. J. Alpermann, A. D. Cembella, Y. Collos, E. Masseret, and M. Montresor(2012), The globally distributed genus *Alexandrium*: multifaceted roles in marine ecosystems and impacts on human health, *Harmful Algae*, Vol. 14, pp. 10-35.
- [3] Asakawa, M., K. Miyazawa, H. Takayama, and T. Noguchi(1995), Dinoflagellate *Alexandrium tamarense* as the source of paralytic shellfish poison (PSP) contained in bivalve from Hiroshima Bay, Hiroshima Prefecture, Japan, *Toxicon*, Vol. 33, No. 5, pp. 691-697.
- [4] Baek, S. H., J. M. Choi, M. Lee, B. S. Park, Y. Zhang, O. Arakawa, T. Takatani, J. K. Jeon, and Y. O. Kim(2020), Change in paralytic shellfish toxins in the mussel *Mytilus galloprovincialis* depending on dynamics of harmful *Alexandrium catenella* (Group I) in the Geoje coast (South Korea) during bloom season, *Toxins*, Vol. 12, 1-13.
- [5] Barbera-Sanchez, A., S. Hall, and E. Ferraz-Reyes(1993), *Alexandrium* sp., *Gymnodinium catenatum* and PSP in Venezuela, In: Toxic phytoplankton blooms in the sea, Smayda, T. J. and Y. Shimizu (eds), Elsevier Science Publishers, New York, pp. 281-285.
- [6] Boney, A. D.(1979), *Phytoplankton*, Camelot Press, Southampton, pp. 1-116.
- [7] Cembella, A. D., J. J. Sullivan, G. L. Boyer, F. J. R. Taylor, and R. J. Andersen(1987), Variation in paralytic shellfish toxin composition within the *Protogonyaulax tamaronsis/catenella* species complex; red tide dinoflagellates, *Biochemical Systematics and Ecology*, Vol. 15, No. 2, pp. 171-186.
- [8] Cembella, A., J. C. Therriault, and P. Béland(1988), Toxicity of cultured isolates and natural populations of *Protogonyaulax tamarensis* from the St. Lawrence Estuary, *Journal of shellfish research*, Vol. 7, pp. 611-621.
- [9] Chang, D. S., I. S. Shin, J. H. Pyeun, and Y. H. Park(1987), A study on paralytic shellfish poison of sea mussel, *Mytilus edulis* - Food poisoning accident in Gamchun Bay, Pusan, Korea, 1986, *Bulletin of the Korean Fisheries Society*, Vol. 20, No. 4, pp. 293-299.
- [10] Cho, C. H.(1978), On the *Gonyaulax* red tide in Jinhae bay, *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, Vol. 11, No. 2, pp. 111-114.
- [11] Davison, I. R. and J. O. Davison(1987), The effect of growth temperature on enzyme activities in the brown alga *Laminaria saccharina*, *British Phycological Journal*, Vol. 22, No. 1, pp. 77-87.
- [12] Epply, R. W.(1972), Temperature and phytoplankton growth in the sea. *Fishery Bulletin*, Vol. 70, No. 4, pp. 1063-1085.
- [13] Gedaria, A. I., B. Luckas, K. Reinhardt, and R. V. Azanza(2007), Growth response and toxin concentration of cultured *Pyrodinium bahamense* var. *compressum* to varying salinity and temperature conditions, *Toxicon*, Vol. 50, pp. 518-529.
- [14] Grzebyk, D., C. Béchemin, C. Ward, C. Vêrité, G. Codd, and S. Y. Maestrini(2003), Effects of salinity and two coastal waters on the growth and toxin content of the dinoflagellate *Alexandrium minutum*, *Journal of Plankton Research*, Vol. 25, No. 10, pp. 1185 - 1199.
- [15] Hamasaki, K., M. Horie, S. Tokimitsu, T. Toda, and S. Taguchi(2001), Variability in toxicity of the dinoflagellate *Alexandrium tamarense* isolated from Hiroshima bay, western Japan, as a reflection of changing environmental conditions, *Journal of Plankton Research*, Vol. 23, No. 3, pp. 271-278.
- [16] Ichimi, K. I., T. Suzuki, and A. Ito(2002), Variety of PSP toxin profiles in various cultrue strains of *Alexandrium tamarense* and change of toxin profile in natural *A. tamarense* population, *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, Vol. 273, No. 1, pp. 51-60.
- [17] Jiang, T., Y. Xu, Y. Li, T. Jiang, F. Wu, and F. Zhang(2013), Seasonal dynamics of *Alexandrium tamarense* and occurrence of paralytic shellfish poisoning toxins in bivalves in Nanji Islands, East China Sea, *Marine & Freshwater Research*, Vol. 65, No. 4, pp. 350-358.
- [18] Kim, C. H.(1995), Paralytic shellfish toxin profiles of the

- dinoflagellate *Alexandrium* species isolated from Benthic cysts in Jinhae Bay, Korea. J. Korean Fish. Soc., Vol. 28, No. 3, 364-372.
- [19] Kim, C. J., C. H. Kim, and Y. Sako(2005), Paralytic shellfish poisoning toxin analysis of the genus *Alexandrium* (Dinophyceae) occurring in Korean coastal waters, Fisheries Science, Vol. 71, pp. 1-11.
- [20] Kim, E. S., Z. Li, S. J. Oh, Y. Y. Yoon, and H. H. Shin(2017), Morphological indentification of *Alexandrium* species (Dinophyceae) from Jinhae-Mansa Bay, Korea, Ocean Science Journal, Vol. 52. No. 3, pp. 427-437.
- [21] Laabir, M., Y. Collos, E. Masseret, D. Grzebyk, E. Abadie, V. Savart, M. Sibat, and Z. Amzil(2013), Influence of environmental factors on the paralytic shellfish toxin content and profile of *Alexandrium catenella* (Dinophyceae) isolated from the Mediterranean Sea, Marine Drugs, Vol. 11, No. 5, 1583-1601.
- [22] Lee, C. K., O. H. Lee, and S. G. Lee(2005), Impacts of temperature, salinity and irradiance on the growth of ten harmful algal bloom-forming microalgae isolated in Korean coastal Water, The Sea, Vol. 10, No. 1, pp. 79-91.
- [23] Lee, H. O., T. Ishimaru, K. Toshiya, and M. S. Han(2006), Growth of the dinoflagellate *Alexandrium tamarense* isolated from Jinhae Bay, Korean in axenic cultures, Korean Journal of Environmental Biology, Vol. 24, No. 3, pp. 275-281.
- [24] Lee, J. S., I. S. Shin, Y. M. Kim, and D. S. Chang(1997), Paralytic shellfish toxins in the mussel, *Mytilus edulis*, caused the shellfish poisoning accident at Geoje, Korea, in 1996, Journal of the Korean Fisheries Society, Vol. 30, No. 1, pp. 158-160.
- [25] Lee, K. J., S. J. Kwon, Y. J. Jung, K. T. Son, K. S. Ha, J. S. Mok, and J. H. Kim(2017), Comparison of analytical methods for the detection of paralytic shellfish toxins (PSTs), Korean Journal of Fisheries and Aquatic Science, Vol. 50, No. 6, pp. 669-674.
- [26] Lim, P. T. and T. Ogata(2005), Salinity effect on growth and toxin production of four tropical *Alexandrium* species (Dinophyceae), Toxicon, Vol. 45, pp. 699-710.
- [27] Nam, K. T., S. Y. Kim, C. H. Moon C. H. Kim, and S. J. Oh(2020), Effects of light wavelengths on the growth and paralytic shellfish toxin production of *Alexandrium catenella* and *A. pacificum*, Journal of the Korean Society of Marine Environment and Safety, Vol. 26, No. 1, 84-92.
- [28] Navarro, J. M., M. G. Muñoz, and A. M. Contreras(2006), Temperature as a factor regulating growth and toxin content in the dinoflagellate *Alexandrium catenella*. Harmful Algae Vol. 5, No. 6, pp. 762-769.
- [29] NIFS(2016), National Institute of Fisheries Science, Annual report of National Fisheries Research and Development Institute. NIFS, Busan, Korea, p. 63.
- [30] Ogata, T., T. Ishimura, and M. Kodama(1987), Effect of water temperature and light intensity on growth and toxicity change in *Protogonyaulax tamarensis*, Marine Biology, Vol. 95, pp. 217-220.
- [31] Oh, S. J., J. A. Park, H. K. Kwon, H. S. Yang, and W. A. Lim(2012), Ecophysiological studies on the population dynamics of two toxic dinoflagellates *Alexandrium tamarense* and *Alexandrium catenella* isolated from the southern coast of Korea I. Effects of temperature and salinity on the growth, Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering, Vol. 15, No. 2, pp. 133-141.
- [32] Oshima, Y.(1995), Post-column derivatization HPLC methods ofr paralytic shellfish poisons, In; Manual on harmful marine microalgae, Hallegraff, G. M., D. M. Anderson and A. D. Cembella (eds), UNESCO, Paris, pp. 81-94.
- [33] Parkhill, J. P. and A. D. Cembella(1999), Effects of salinity, light and inorganic nitrogen on growth and toxigenicity of the marine dinoflagellate *Alexandrium tamarense* from
- [34] Prakash, A.(1967), Growth and toxicity of a marine dinoflagellate, *Gonyaulax tamarensis*, Journal of the Fisheries Research Board of Canada, Vol. 24, No. 7, pp. 1589-1606.
- [35] Proctor, N. H., S. L. Chan, and A. J. Trevor(1975), Production of saxitoxin by cultures of *Gonyaulax catenella*, Toxicon, Vol. 13, pp. 1-9.
- [36] Rossini, G. P.(2014), Toxins and biologically active compounds from microalgae, In; Biological effects and risk management, vol. 2, CRC Press, pp. 1-700.
- [37] Shin, H. H., S. H. Baek, Z. Li, M. S. Han, S. J. Oh, S. H. Youn, Y. S. Kim, D. Kim, and W. A. Lim(2014), Resting cysts, and effects of temperature and salinity on the growth of vegetative cells of the potentially harmful species *Alexandrium insuetum* Balech (Dinophyceae), Harmful Algae, Vol. 39, pp. 175-184.
- [38] Shin, H. H., Z. Li, E. S. Kim, and J. W. Park(2017), Which species, *Alexandrium catenella* (Group I) or *A. pacificum* (Group IV), is really responsible for past paralytic shellfish poisoning outbreaks in Jinhae-Masan Bay, Korea? Harmful Algae, Vol. 68, pp. 31-39.

- [39] Su, H. M., Y. M. Chiang, and I. C. Liao(1993) Role of temperature, salinity and ammonia on the occurrence of the Taiwanese strain of *Alexandrium tamarense*, Smayda, T. J. and Y. Shimizu, Y. (eds.), Toxic phytoplankton Biomass in the Sea, Elsevier, Amsterdam, pp. 837-842.
- [40] Wang, D. and D. P. H. Hsieh(2001), Dynamics of C2 toxin and chlorophyll-*a* formation in the dinoflagellate *Alexandrium tamarense* during large scale cultivation, *Toxicon*, Vol. 39, No. 10, pp. 1533-1536.
- [41] Yamamoto, T. and K. Tarutani(1997), Effects of temperature, salinity and irradiance on the growth of toxic dinoflagellate *Alexandrium tamarense* isolated from Hiroshima Bay, Japan, *Japanese Journal of Phycology*, Vol. 45, No. 1, pp. 95-101.
- [42] Yamamoto, T., Y. Yoshizu, and K. Tarutani(1995), Effect of Temperature, Salinity and Irradiance on the Growth of Toxic Dinoflagellate *Alexandrium tamarense* isolated from Mikawa Bay, Japan, *Japanese Journal of Phycology*, Vol. 43, No. 2, 91-98.
- [43] Yoshida T., Y. Sako, and A. Uchida(2001), Geographic differences in paralytic shellfish poisoning toxin profiles among Japanese populations of *Alexandrium tamarense* and *A. catenella* (Dinophyceae), *Phycological Research*, Vol. 49, pp. 13-21.

Received : 2021. 01. 18.

Revised : 2021. 02. 19.

Accepted : 2021. 02. 25.